# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

E.E.A. INTA Manfredi

**19 y 20 de Septiembre de 2018**

Recopilación de presentaciones técnicas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos | INTA | Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación

INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

19 y 20 de septiembre de 2018 | INTA E.E.A. Manfredi | Centro Regional Córdoba

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

Jacto | Ingersoll Argentina | Agroactiva | Metalfor | New Holland Agriculture | PLM Precision Land Management | Geosistemas | Porta | Bosch | AGD Alimentos Naturales | AGD Servicios Tecnológicos Agricultura Creativa | John Deere | Syra | Asociación Cooperadora INTA - E.E.A. Manfredi | Yara | atfarm Fertilización precisa hecha simple | Econovo División Agrovial | Farmtrac | Pla | Fundación Cideter | Case IH Agriculture | AFS Advanced Farming Systems | Acoplados Conese | Roca Fértil | Profertil Vida para nuestra tierra | Ternium Siderar | Cestari Más de 90 años

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## Recopilación de presentaciones técnicas

Ministerio de Agricultura y Ganadería
Ministerio de Ciencia y Tecnología
Ministerio de Industria, Comercio y Minería
Gobierno de la Provincia de Córdoba
Entre Todos
INTA
Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación

Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación

**Dr. Luis Miguel Etchevehere**
Ministro de Agroindustria de la Nación

**Ing. Agr. Juan Balbín**
Presidente del INTA

**Ing. Agr. Mariano Bosch**
Vicepresidente del INTA

**Ing. Agr. Héctor Espina**
Director Nacional del INTA

**Ing. Agr. Juan Cruz Molina Hafford**
Director del Centro Regional Córdoba - INTA

**Ing. Agr. Eduardo Orecchia**
Director de la Estación Experimental Agropecuaria Manfredi - INTA

**Dra. Claudia González**
Coordinadora del Programa Nacional Agroindustria y Agregado de Valor - INTA

**Ing. Agr. Mario Bragachini**
Coordinador del Proyecto Integrador
“Procesos tecnológicos para agregar valor en origen en forma sustentable” - INTA

**ÍNDICE**

**1--Problemas y oportunidades de argentina frente a las nuevas reglas comerciales y tecnológicas agtech y bigdata que irrumpen en los procesos de bioeconomía**
*Bragachini M.*

**2--El Progreso en la tecnificación del Agro**
*Villarroel D., Scaramuzza F., Vélez J.P.*

**3--Evolución y cambios en la adopción de la agricultura de precisión en argentina**
*Melchiori R, Albarenque S., Kemerer A.*

**4--Nuevas oportunidades y desafíos productivos en argentina: resultados de la primera encuesta nacional a empresas de agricultura y ganadería de precisión**
*Lachman J., Cappelletti L., López A.*

**5--La aplicación de agrotecnología para la seguridad alimentaria en el cono sur**
*Ortega Blu R.*

**6--Desarrollo de un módulo experimental-demostrativo de agricultura de precisión**
*Melchiori R., Kemerer A., Albarenque S., Bedendo D., Pioto C., Hill S., Maydana C., Butarelli S. ., Faccendini N, Bracco J.L.*

**7--Generación de mapas de prescripción variable de nitrógeno utilizando imágenes de sensores remotos**
*Melchiori R., Melchiori A., Albarenque S.; Kemerer A.*

**8--Delimitación de zonas mediante imágenes satelitales de cultivos de verano e invierno**
*Hill S., Kemerer A., Melchiori R., Albarenque S.*

**9--Evaluación de Imágenes Multiespectrales Aéreas y Satelitales de alta Definición para la Cuantificación de Biomasa de Maíz (Zea mais L.) para Bioenergía**
*F. Scaramuzza; D. Villarroel; J.P. Vélez; D. Mathier; N. Sosa.*

**10--Metodos de delimitacion de zonas de manejo usando variabilidad espacio-temporal de rendimiento y margen bruto**
*Laner M., Albarenque S., Melchiori R., Kemerer A.*

**11--Determinación de zonas de mayor calidad y rendimiento de trigo (Triticum aestivum L.) utilización de imágenes multiespectrales obtenidas por vehículo aéreo no tripulado**
*J. Vélez; F. Scaramuzza; D. Villarroel, G. Bessone, y P. Salvatierra*

**12--Método de prescripción de nitrógeno basado en sensores para canola de primavera en Argentina**
*Melchiori R., Coll L., Albarenque S., Kemerer A., Pautasso J.*

**13--Evaluación de Analizador y mapeador NIR de la concentración de proteína en Trigo en tiempo real instalado en cosechadora.**
*D. Villarroel, Velez J. P., Melchiori R., Scaramuzza F., Juan N., Bragachini M.*

**14--Cosechadoras: el último restyling esperando una nueva generación de cosechadoras**
*Bragachini M., Sanchez F.*

**15--Manejo variable de la densidad de siembra y nitrógeno en maíz**
*Kunzi E., Senkman V., Maltese N., Melchiori R.*

**16--Manejo sitio específico de nitrógeno en maíz a través del diagnóstico por sensores remotos**
*Redel M., Michlig A., Fernández L., de Villalobos T., Mossini A.*

**17--Densidad por ambiente: suelo somero y campaña sin lluvias**
*Ross F.*

**18--Delineación de zonas de manejo de nitrógeno para el cultivo de maíz en el noroeste bonaerense**
*Girón P., Pagani A.*

**19--Fastmapping: como herramienta para la zonificación intralote**
*Córdoba M., Paccioretti P., Bruno C., Balzarini M.*

**20--Mi lote - tu primer socio digital**
*Cerri M.*

**21--Calidad de control de malezas con pulverización dirigida**
*Lo Celso I.*

**22--Aplicaciones selectivas, y cada vez más inteligentes**
*Bilbao E.*

**23--Mapeo de suelos de alta definición**
*Muguerza J., Bonetto E., Storti S.*

**24--Bosch presenta su sistema de pesaje inteligente para la ganadería**
*Ferro G.*

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

Ternium Siderar

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# *PROBLEMAS Y OPORTUNIDADES DE ARGENTINA FRENTE A LAS NUEVAS REGLAS COMERCIALES Y TECNOLÓGICAS AGTECH Y BIGDATA QUE IRRUMPEN EN LOS PROCESOS DE BIOECONOMÍA.*

**Ing. Agr. M.Sc. Mario Bragachini**
INTA E.E.A. Manfredi
Coord. (i) Programa Nacional Valor Agregado, Agroindustria y Bioenergía

**17° CURSO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DE PRECISIÓN**
19 y 20 de Septiembre de 2018
INTA E.E.A. Manfredi

Frente a los cambios tecnológicos que vive la agricultura y ganadería argentina, y a la necesidad de cambio de una matriz productiva eficiente en lo primario, pero de muy bajo valor exportable con demostrada insustentabilidad económica y social, la idea está clara en los cambios que se necesitan para que Argentina busque una matriz productiva y exportadora más agroindustrial, más agroalimentaria, equilibrada en lo energético y ambiental, y sustentable y sostenible en el mediano plazo. "Argentina Supermercado del Mundo".

- ¿Es para Argentina una oportunidad un incremento global de la demanda de alimentos de un 50% en los próximos 30 años?
- ¿Estamos preparados para los desafíos y cambios tecnológicos productivos que dominarán procesos, productos y mercados en los próximos 30 años?
- ¿Qué importancia estratégica tendrán los recursos naturales para producir biomasa alimenticia primaria frente a estos cambios?
- Nuestra actual matriz productiva agroexportadora poco diversificada y "commoditizada" demuestra insuficiencia en lo económico, siendo mejorable en lo social y ambiental.
- ¿Estamos en el camino correcto para aprovechar las oportunidades para ser el Supermercado del Mundo?
- En los últimos 60 años Argentina no tuvo un plan estratégico con políticas activas para transformar la matriz productiva de eficiente productora de granos commoditizados a una matriz más agroindustrial, más agroalimentaria.
- Estamos a tiempo y debería ser el camino confluyente de todos los argentinos.
- Las metas al 2028 indican una Argentina con una producción agroalimentaria diversificada en productos y en todo el territorio, sustentable en lo económico, social y ambiental.
- Con una producción que irá desde los 130 M de toneladas actuales a 180 M/t de granos, una exportación no commoditizada duplicada, (tonelada promedio exportada que duplique el valor actual), generando además 1 millón de nuevos puestos de trabajo directos en el interior productivo, en origen, trabajo de calidad para innovadores procesos tecnológicos, desarrollados sobre inversión pública/privada en I+D+I y una reorientación de procesos educativos formales y no formales (RR.HH. para trabajos que hoy no existen).
- Verdaderas biorrefinerías en medio de los campos, poblar nuevamente el interior de las provincias con trabajo genuino…
- Estamos adormecidos en 6 a 8 cadenas comoditizadas exportadoras y otras 6 cadenas agroindustriales de consumo interno con alguna exportación, y otras 20 cadenas enfocadas solo al consumo interno, cuando podemos tener en el 2028 al menos 40

cadenas agroindustriales exportadoras de competitividad global, balanza comercial positiva, un país sustentable sobre el concepto de **Supermercado del Mundo.**

- Dicho lo anterior, volvemos al rol tecnológico puro buscando que la producción de biomasa alimenticia tenga una excelente productividad, realizada con normas de proceso y productos compatibles con mercados exigente, priorizando siempre la seguridad alimentaria para todos los argentinos y por supuesto el ambiente.
- Un país productor y exportador competitivo debería priorizar el rol de la ER (solar, eólica), la bioenergía y los biocombustibles, nuevas energías, la conectividad, la farmacéutica, la nutracéutica, la química verde, la agricultura celular, la edición génica, los mapeos genéticos, las máquinas inteligentes, la robótica, la inteligencia artificial, la agricultura y ganadería de precisión del futuro que entre todos estamos diseñando con algún cuestionamiento global (generación de trabajo)… aspecto no menor pero solucionable.
- Juntos al avance de los sensores y la forma de utilizarlos con nuevos satélites, nanosatelites, tomando decisiones directas o bien conectados a plataformas que irrumpen en la producción de alimentos con sistemas digitalizados que se deben potenciar y eso es lo que estamos haciendo este 19 y 20 de setiembre en el **17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión** en INTA Manfredi**.**
- Bioeconomía, ahora más orientado a AgTech con aceleradoras Startup, Agricultura 4.0 y más específicamente FoodTech (o sea la producción e industrialización de los alimentos de forma digital hasta las góndolas del mundo con inocuidad, calidad, trazabilidad certificada).
- ¿La creación, desarrollo y aplicación de las últimas tecnologías es la finalidad o bien un medio indispensable para una nueva matriz productiva que transforme a nuestro país en sustentable y sostenible en base al concepto de supermercado del mundo?
- Nuestro objetivo es insertarnos en un nuevo mundo de tecnologías digitales aplicadas en diferentes eslabones de las cadenas de valor agrícolas, ganaderas y alimentarias desde el m2 del cultivo, o el manejo individual de los animales de un rodeo, hasta el plato de un restaurante… **La nueva industria FoodTech.**
- Industrias 4.0 cadenas de suministro de inteligencia, nutrigenética, alimentos sustitutivos, biomateriales, etc.
- La digitalización de la producción alimentaria permitirá acercarse y crear el cliente objetivo.

# Hacia una agroindustria más eficiente

La Red de Agricultura de Precisión, liderada por el INTA, integra a los actores del sector para transformar a la AP en una herramienta que, con sustentabilidad social y ambiental, beneficie la productividad y la competitividad de la cadena de agroalimentos de la Argentina.

**Recopilación de datos georreferenciados**

La tecnología de información vinculada al posicionamiento satelital permite obtener datos georreferenciados de distintos sitios de un lote y conocer así su variabilidad.
Ejemplos de datos a recolectar:

**Procesamiento de la información**

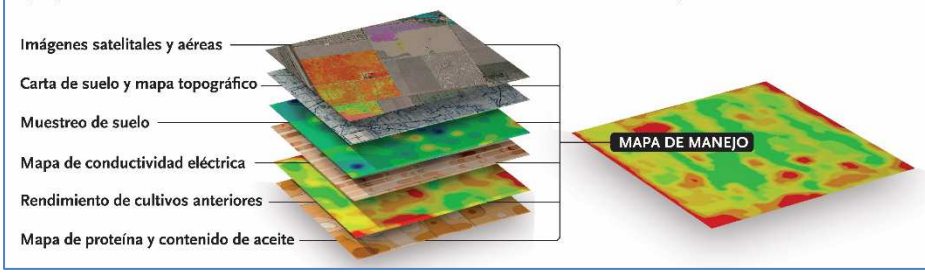
Los datos recolectados se procesan con software especializado y permiten elaborar diferentes mapas o modelos del lote, con información precisa de sus distintas áreas.

**Delimitación de las zonas de manejo**

En base a los modelos obtenidos y con la experiencia del productor se traza un **mapa de manejo diferenciado**, que identifica sitios con distinto potencial y requerimiento de insumos y tareas.

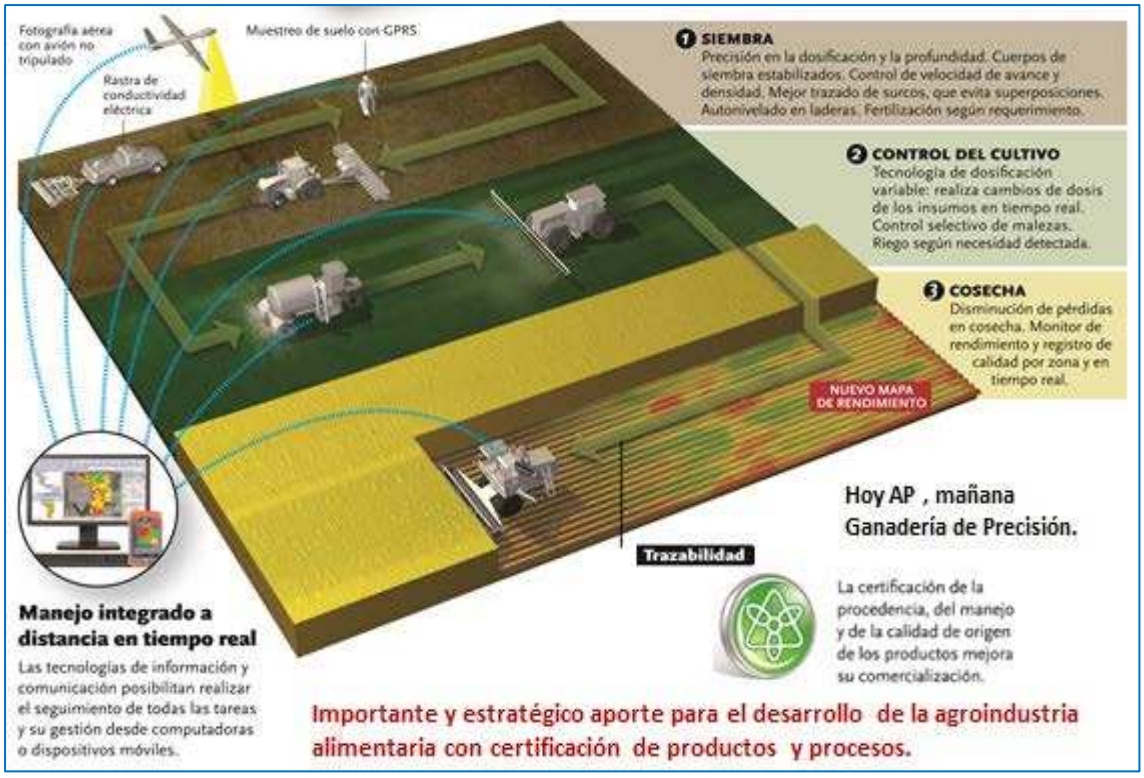
**Técnicas de manejo variable**

El mejor conocimiento de la variabilidad posibilita planificar una gestión "a medida" para cada zona del lote, con beneficios económicos y ecológicos.

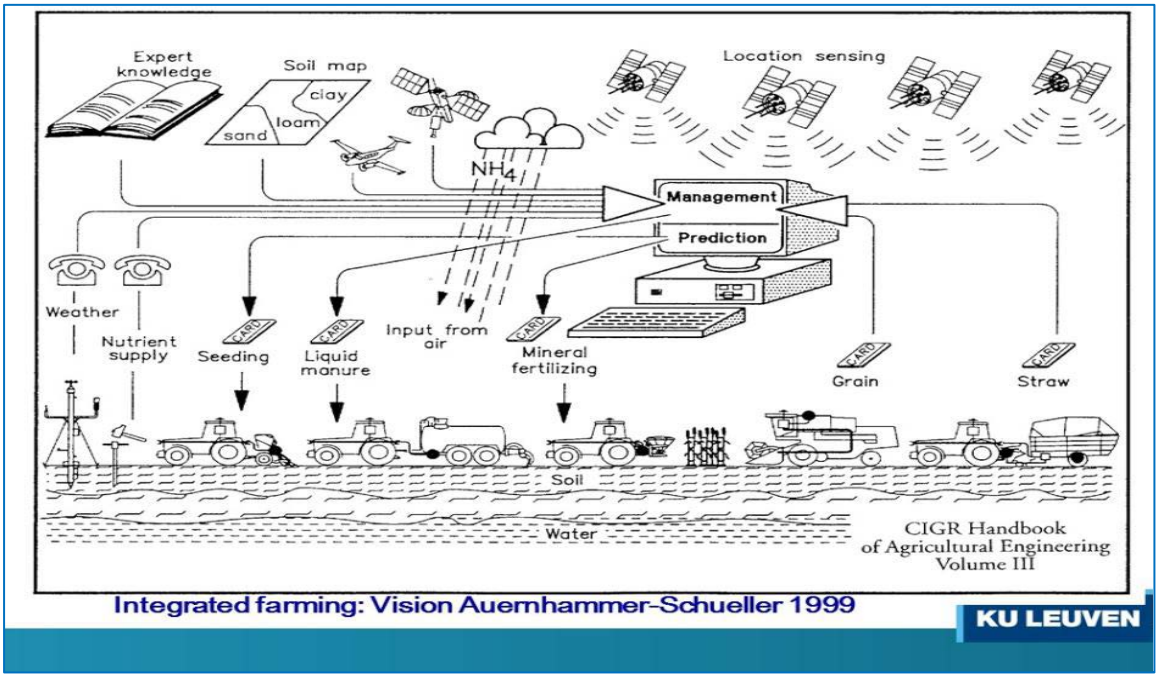



**MÁQUINAS PRECISAS**

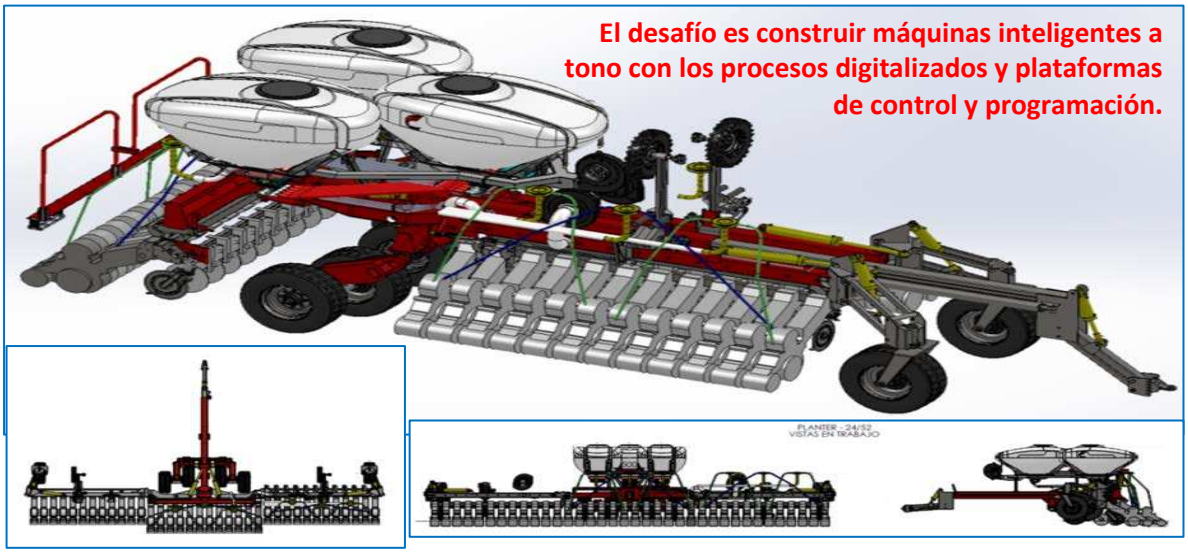
Para un aprovechamiento óptimo del manejo variable es necesario ajustar la maquinaria para explotar todo su potencial e incorporar gradualmente nueva tecnología de precisión.




Las plataformas de captación y proceso de la información en un futuro inmediato serán asistidos por procesos de inteligencia artificial pudiendo procesar, decodificar informaciones de distintas fuentes y poner a disposición en teléfono móvil a cualquier usuario con conectividad, o cualquier máquina de producción, o proceso agroindustrial.




El gran desafío es producir máquinas capaces de aprovechar todos estos nuevos desarrollos digitalizados, o sea máquinas inteligentes y la industria argentina en diferentes rubros está siguiendo el camino del desarrollo, por ejemplo en siembra inteligente la Sembradora Air Planter totalmente eléctrica, nivel internacional en diseño.



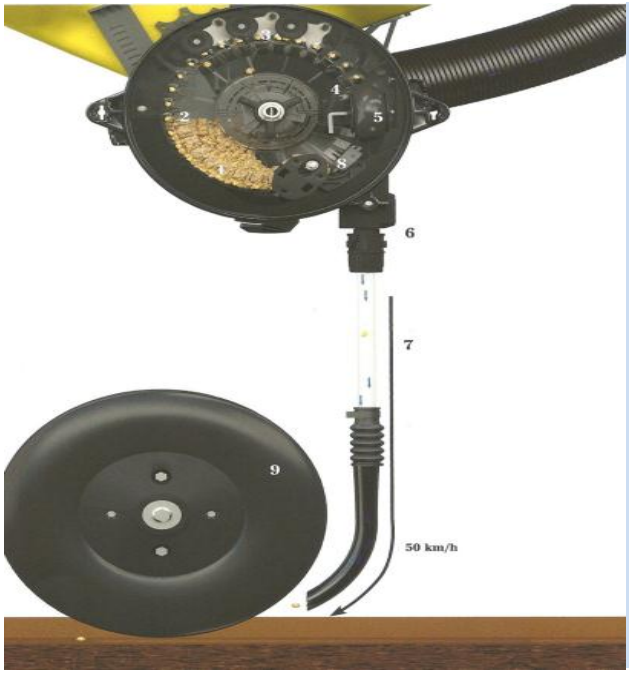
Sembradora muy innovadora en lo funcional en siembra, plegado y transporte, a lo cual se le incorpora toda la tecnología de conectividad electrónica, sensores y software para hacer de un funcionamiento inteligente.

Los fabricantes argentinos suman algunas agropartes importadas para estar en algunos países importadores, satisfaciendo demandas puntuales, este es el caso de Apache con Precision Planting, distribuidor eléctrico (propiedad de Agco).

El nuevo desafío de siembra es distribuidores eléctricos y cuerpo de SD para sembrar a 14 km/h. Los Argentinos no estamos durmiendo en este aspecto ya existen y habrá en los próximos meses novedades muy innovativas.

Plantium: Motor Brushless integrado (patente mundial 2016).

Este distribuidor además de ser novedoso en su funcionamiento eléctrico, con base electrónica inteligente y cableado CAMBUS, está muy bien protegido con patente mundial, y fue evaluado por INTA durante 2 años con siembra de alta velocidad con maíz, con excelentes resultados de calidad de siembra.



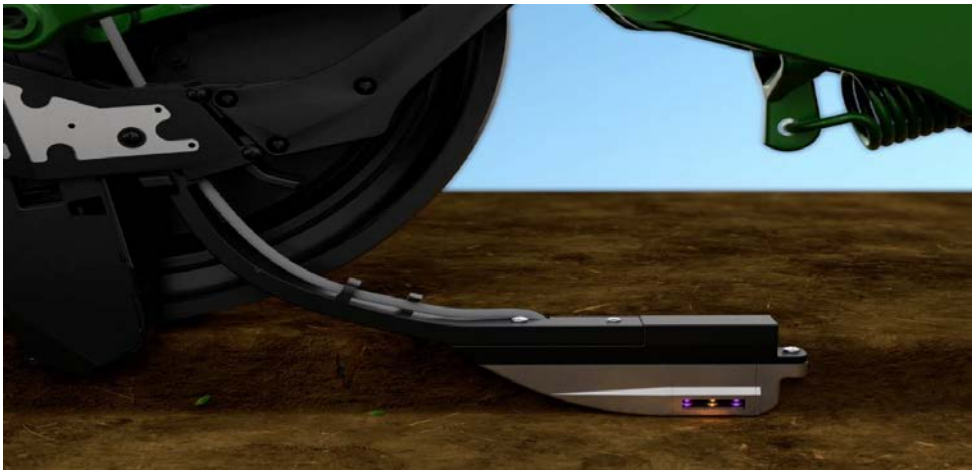

**Detalle del principio del distribuidor neumático por presión con ubicación de semilla sin rebote, coeficiente de variación en maíz menor al 20% a 15 km/ha de velocidad de siembra.**

Versión argentina de Plantium.
Excelente siembra a 14 Km/h en ensayo de INTA Manfredi (2016/17).

Detalles del sistema argentino probado en una máquina argentina por INTA en 2016/17.

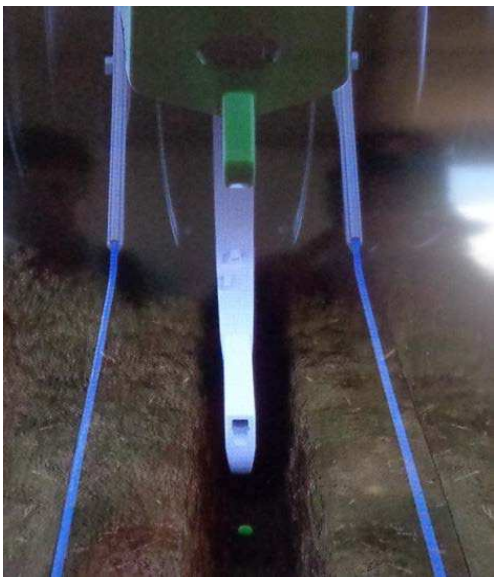
El tema siembra VRT o dosificación variable el desarrollo de nuevos sensores, prometen un nivel de manejo de la microvariabilidad ($m^2$), situación que era imposible pensarlo en el año 2016.
Hoy este equipo con nuevos sensores aún no introducido masivamente en Argentina es al menos 200 veces más preciso en la definición de una unidad de manejo de densidad en maíz que lo que se conocía hasta el 2016.

Sensor Precision Planting “SmartFirmer”. Sensoramiento de humedad del suelo, cámara de aire (rastrojo en el surco) y MO; 3 factores de alta correlación positiva con la fertilidad potencial de un microambiente, colocación de la cantidad apropiada de semillas variable instantánea por surco y por metro. Un distribuidor eléctrico y corte por sección CamBus maneja casi un m2 de siembra, sin datos previos.
Un antes y un después de la Agricultura de Precisión (INTA no lo probó).



Como las semillas son cada vez más productivas por tener una carga genética / biotecnológica aditiva, es necesario ponerla durante la siembra en un ambiente preciso, profundidad, contacto con el suelo, insecticida, fungicida, estimulantes, hormonales, inoculantes y nutrientes, y esto es lo que se muestra con los 5 chorros de fertilizantes líquidos posicionados a la siembra.

Ambiente de la semilla súper asistido. Hasta 5 chorros.



La robótica en grandes máquinas ya está desarrollada, sólo faltan las legislaciones para su adopción.
Tractores autónomos o sin conductor, tractores seguidores.

Mini robot de siembra Fendt de AGCO.

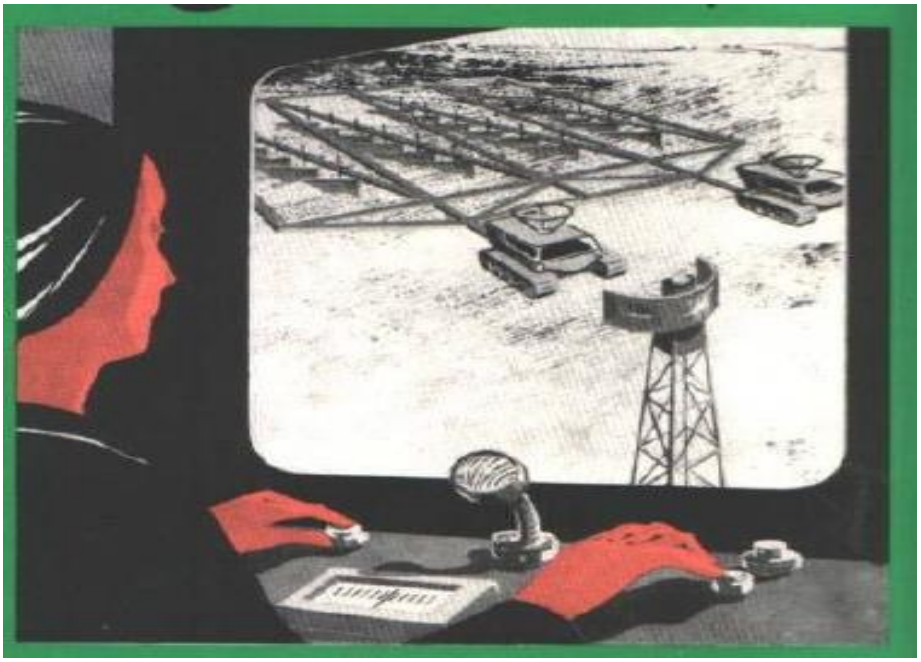
Siembra en pequeñas unidades automatizadas. La navegación por satélite y la conexión con la nube permite trabajar 24 horas entre 6 y 12 unidades por ha. Rendimientos de 1 ha/h, o sea 0,12 ha/h. Cada robot se comunica con la central de inteligencia. Siembran diferentes semillas, cada robot con un híbrido u otra especie. Pesa 50 kg y funciona con una batería de 400 W. Es autónomo, permite sembrar las 24 horas. Requiere un 70% menos energía que un convencional y emite menos CO2 (no necesita diesel ni aceite).

Se cree que los mini robots puedan ser una alternativa en cultivos extensivos dentro de países donde se manejen lotes pequeños, Europa Central por ejemplo, pero serán muy utilizados en el corto plazo en cultivos fruti-hortícolas.

La visión de la agricultura del futuro puede ser una operación de computadora detrás de una pantalla manejando varias máquinas al mismo tiempo, pero la otra forma será recibiendo la información y manejo desde un teléfono móvil.

Producción Agrícola Remota (programación y control).

El futuro inmediato.



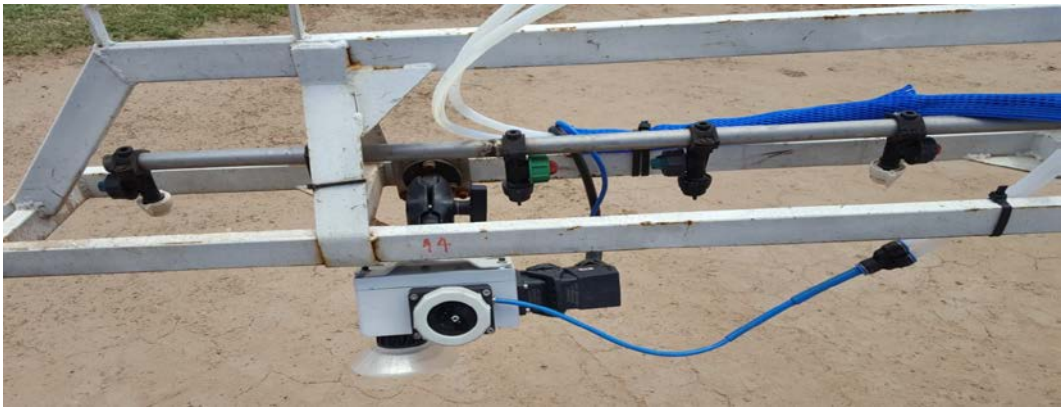
Argentina es competitiva en pulverizadoras.
Motores delanteros, barral de 40 m en fibra de carbono (innovación global), adaptadas para aplicación selectiva, varios tanques y con telemetría conectadas a plataformas on-line.

Argentina posee muy buenos desarrollos en pulverizadoras autopropulsadas inteligentes y equipadas con equipos sensores selectivos de detección de malezas pueden ser muy inteligentes para la aplicación selectiva de malezas resistentes.

Un ejemplo es PLA con una máquina premiada internacionalmente.
PLA: pulverización con aplicación cuádruple y sensores de aplicación dirigida.

*Doble línea de pulverizar*

Prototipo gota controlada diseñado en Argentina con patente global IGB. Próximo en el mercado. Ultra bajo volumen con mucha innovación electrónica y de software.

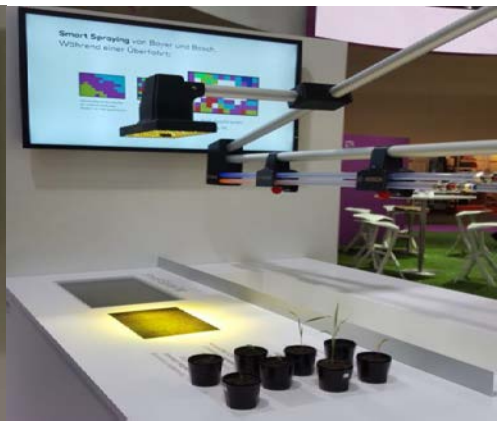


Argentina posee innovadores que trabajan interdisciplinariamente produciendo equipos muy novedosos patentados internacionalmente.

Este prototipo de aplicación dirigida con escáner puede constituirse en un gran adelanto en aplicaciones de todo tipo de fitosanitarios.

Visión artificial BAYER/BOSCH.

4 canales de pulverización, 500 fotos patrones para comparar con el escáner. Herbicida A, B y C + Agua. Tendencias aplicación de agroquímicos con mayor reducción de dosis y mayor eficiencia, menor riesgo de contaminación. Mezcla en tiempo real por inyección.



El ISOBUS 3 permite que la máquina enganchada a un Tractor por medio de sensores y Cables inteligentes CAN Bus pueda gobernar al tractor, hacerlo avanzar más rápido o más lento y detenerlo, accionando el atador y expulsar el rollo automáticamente.

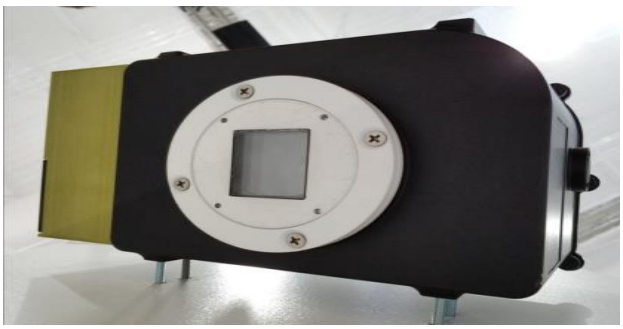
Avances de la conectividad en tractores, máquinas, sensores, donde la máquina gobierna el manejo del tractor y se autoregula gobernando el funcionamiento de la máquina y el tractor, o sea como un robot autopropulsado.

Almacenaje en Bolsas Plásticas Herméticas sensores de CO2 a distancia.

El [illegible] cualitativo.

Avances en los sensores Nirs en todo los procesos de determinación de calidad nutricional de alimentos, humedad, proteína y aceites en grano en las cosechadoras y plantas de acopio o industrias. Proteína, FDA y FDN en forraje, picadoras y henificadoras, calidad nutricional de efluentes devueltos al suelo NPK con VRT. etc. Todo funcionando con plataformas para hacer trazabilidad, segregación por calidad o mejor control de procesos.

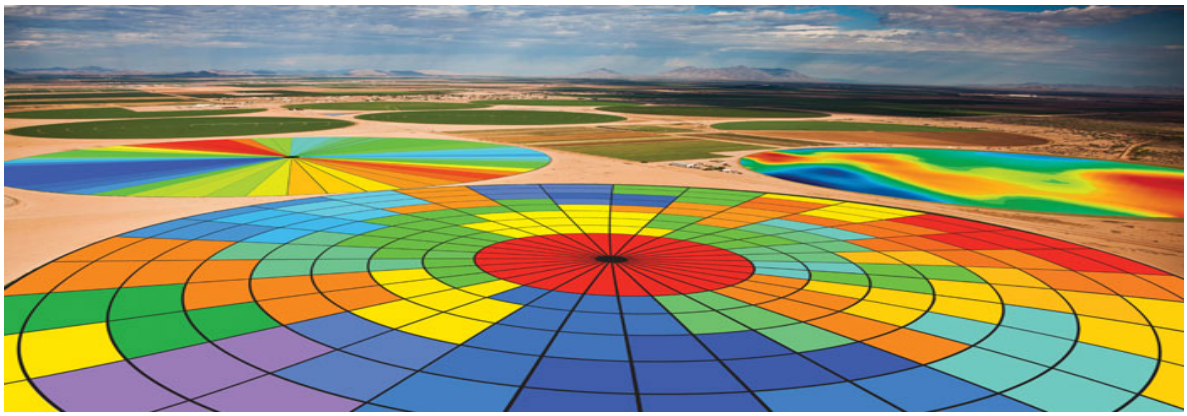
Desarrollo nacional patentado y premiado internacionalmente.



Sensor de forraje importado en picadoras Claas, John Deere, New Holland, y en henificación de varias marcas.

**RIEGO POR ASPERSIÓN VRT**

Agua dulce limitante, riego eficientes, menos riego por manto, más por aspersión inteligente; buen futuro del riego por goteo y riego por goteo subterráneo, allí estará la AP y el GPS. Caudal variable por ambiente. Barral de aplicación de fitosanitarios inteligente (patente argentina). Energía solar para todo el funcionamiento del riego y bombeo de agua.



**GANADERÍA DE PRECISIÓN**

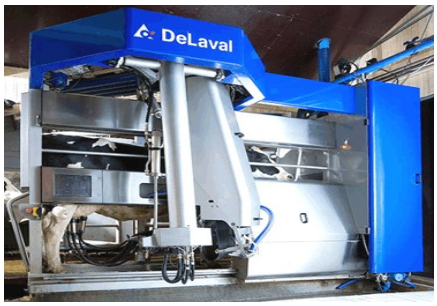
Permite manejar variables productivas, ganancia de peso diario, eficiencia de conversión del alimento (Premio CiTA de Oro del INTA Anguil), comportamiento biológico del animal, rumia, celo, enfermedad, otros; también bienestar animal y otros parámetros que permiten un mejor control del rodeo en general y el ambiente que lo rodea, pastoreo con boyero virtual. Formulación de raciones con balanzas inteligentes de manejo a distancia, robot de ordeñe, caravana con radio frecuencia, pronto no se hablara más de rodeo sino de manejo individual de animales.

Sistema de medición de consumo de alimento automático y ganancia de peso individual desarrollado por INTA Anguil.

# "Tambo de precisión"

*"Las vacas se van a ordeñar voluntariamente"*

Miguel Taverna - INTA E.E.A. Rafaela



Uno de los pioneros del uso de robot en tambos en Argentina.

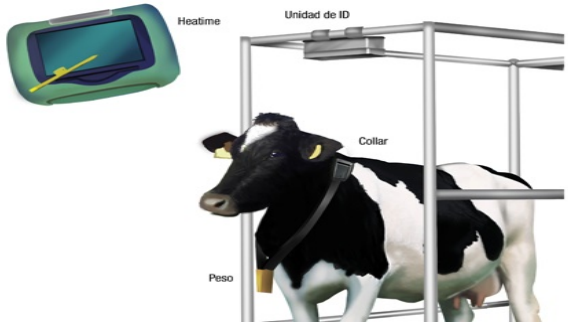
Tambo Robotizado - INTA Rafaela

Un robot ordeña 75 vacas, 2 veces al día.

Tambo pastoril con suplementación estratégica.

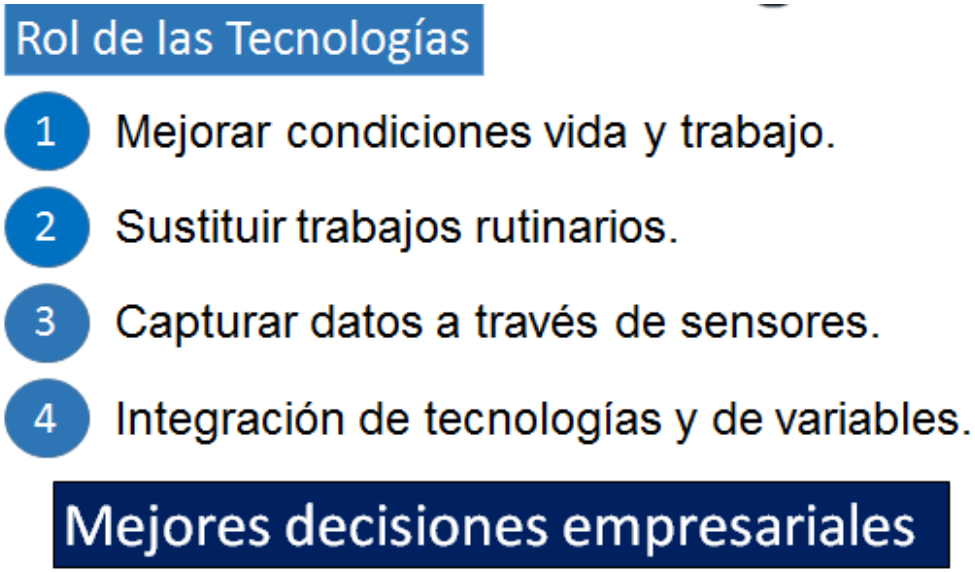
**COLLARES PARA DETECCIÓN DE CELO Y RUMIA**

- La actividad es registrada y almacenada por 24 hs en el collar de identificación en cada animal.
- Estos datos son transmitidos cada vez que los animales son reconocidos por los lectores que se colocan por ejemplo a la entrada o a la salida de la sala de ordeño.
- Los cambios en la rumia son una de las primeras señales que puede indicar problemas potenciales tanto de salud como de suministro de la ración
- Este dispositivo reporta a la web la actividad de cada animal y de todo el grupo, la cual se puede monitorear desde cualquier teléfono celular.
- Cada collar está compuesto por un sensor de movimiento, un microprocesador, una memoria y un micrófono especialmente desarrollado para detectar los tiempos de rumia de la vaca, el ritmo de masticación y el tiempo transcurrido entre bolos alimenticios.
-



**JERINGA INTELIGENTE: DOSIS JUSTA CON INFORMACIÓN PRECISA**

Resulta interesante para la toma de decisiones lograr la trazabilidad de punta a punta y la digitalización de toda la información precisa inclusive de las Actas de Vacunación.




Las tecnologías AgTech y de Agricultura de Precisión constituyen un medio para avanzar en los procesos de industrialización de la materia prima, en pasos progresivos de valor hasta llegar a la góndola del consumidor final, que desea ahora elegir entre un producto trazado y uno de procedencia desconocida y no certificado, las normativas de comercio de alimento de consumo directo serán muy rígidos a partir de los próximos 4 años y quienes no adopten procesos controlados y trazados y den garantía de trazabilidad en góndola quedarán fuera de los mercados de mayor poder adquisitivo, y eso se realiza con procesos digitalizados.

Incremento de la industrialización de la MP en origen con valor exportable.
Alimentos elaborados al mundo. BPA, BPG, BPP de industrialización.
Aplicando concepto holístico de biorefinerias donde todo se aprovecha, el residuo de un proceso es la materia prima del siguiente.

Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación

## Visión

Proceso iniciado e implementado por los actores del territorio, para potenciar las capacidades y RRHH locales, consolidando el entramado socio-institucional y la base económica-productiva.

Considera al conjunto de las actividades encadenadas en el territorio (agro, industria, comercio, servicios).

Supera al enfoque dicotómico urbano-rural.

Integración vertical y horizontal del productor en procesos agroindustriales y agroalimentarios.

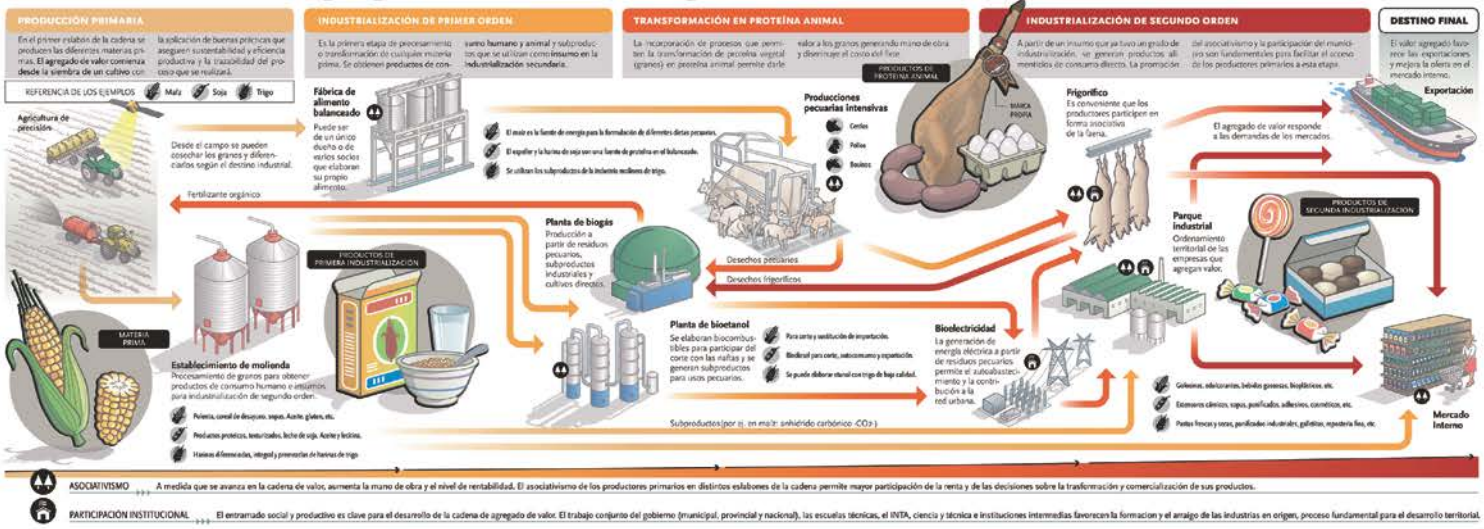
Asociativismo y cooperativismo, más renta distributiva, más trabajo, más arraigo.

Incorpora la participación estratégica de los Gobiernos Locales.

DESARROLLO PARA EL AGRO

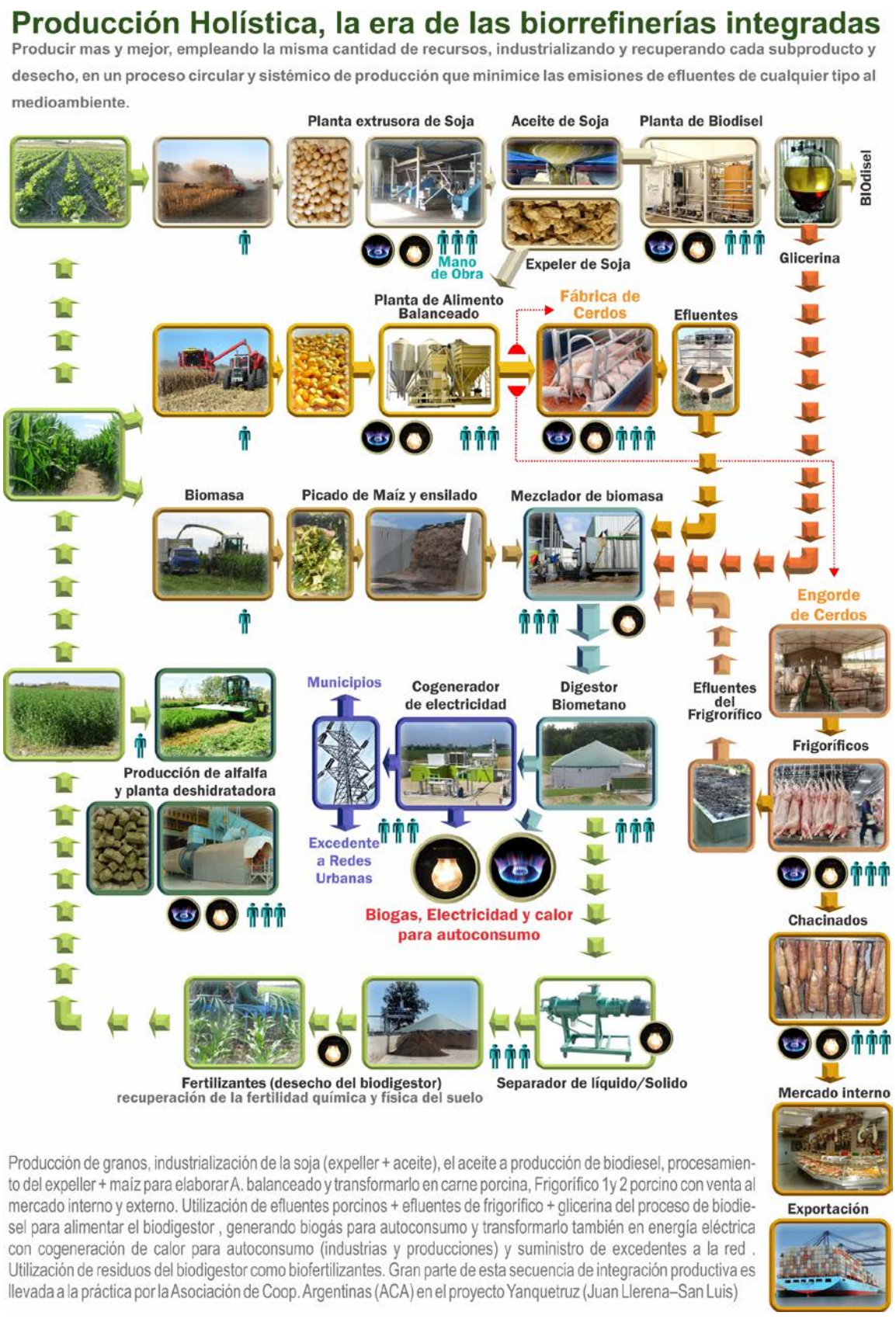
# Cómo se realiza el agregado de valor en origen

Con el apoyo del Ministerio de Agroindustria de la Nación, el INTA impulsa la transformación de los granos en productos y subproductos con más valor agregado. Esto profundiza el desarrollo de las cadenas agroalimentarias presentes en los territorios.

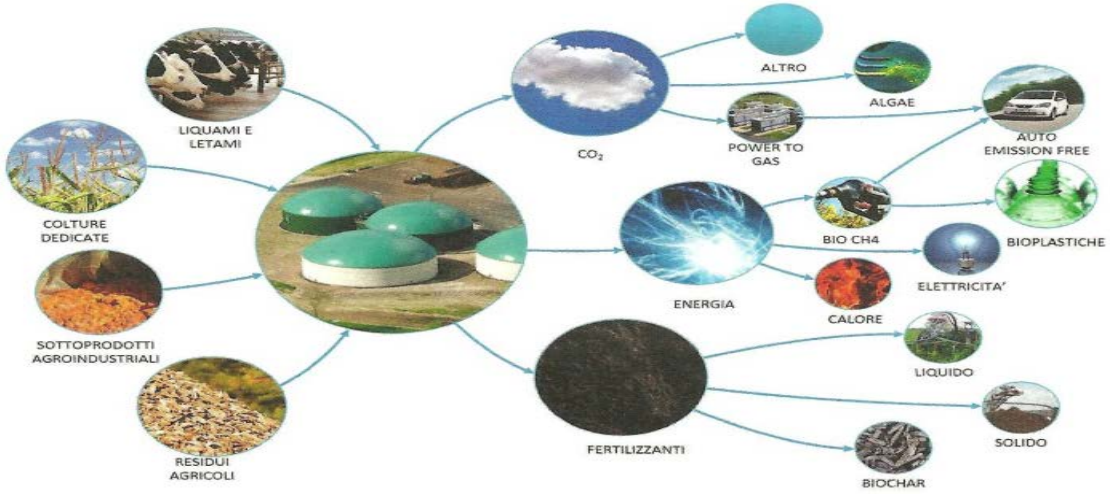



www.inta.gob.ar - www.agroindustria.gob.ar

Los procesos encadenados donde el subproducto de un proceso y la materia prima del siguiente se denominan “Producción Holística”, la era de las biorefinerías Integradas donde nada se tira y todo se aprovecha. Sistema agroalimentario 360.



La Agricultura Circular 360°, la electrónica y la digitalización es desde hace tiempo una realidad.




Rappresentazione schematica di una Green-Biorefinery
*Green-Biorefinery scheme*

**ETANOL DE MAÍZ EN ARGENTINA**

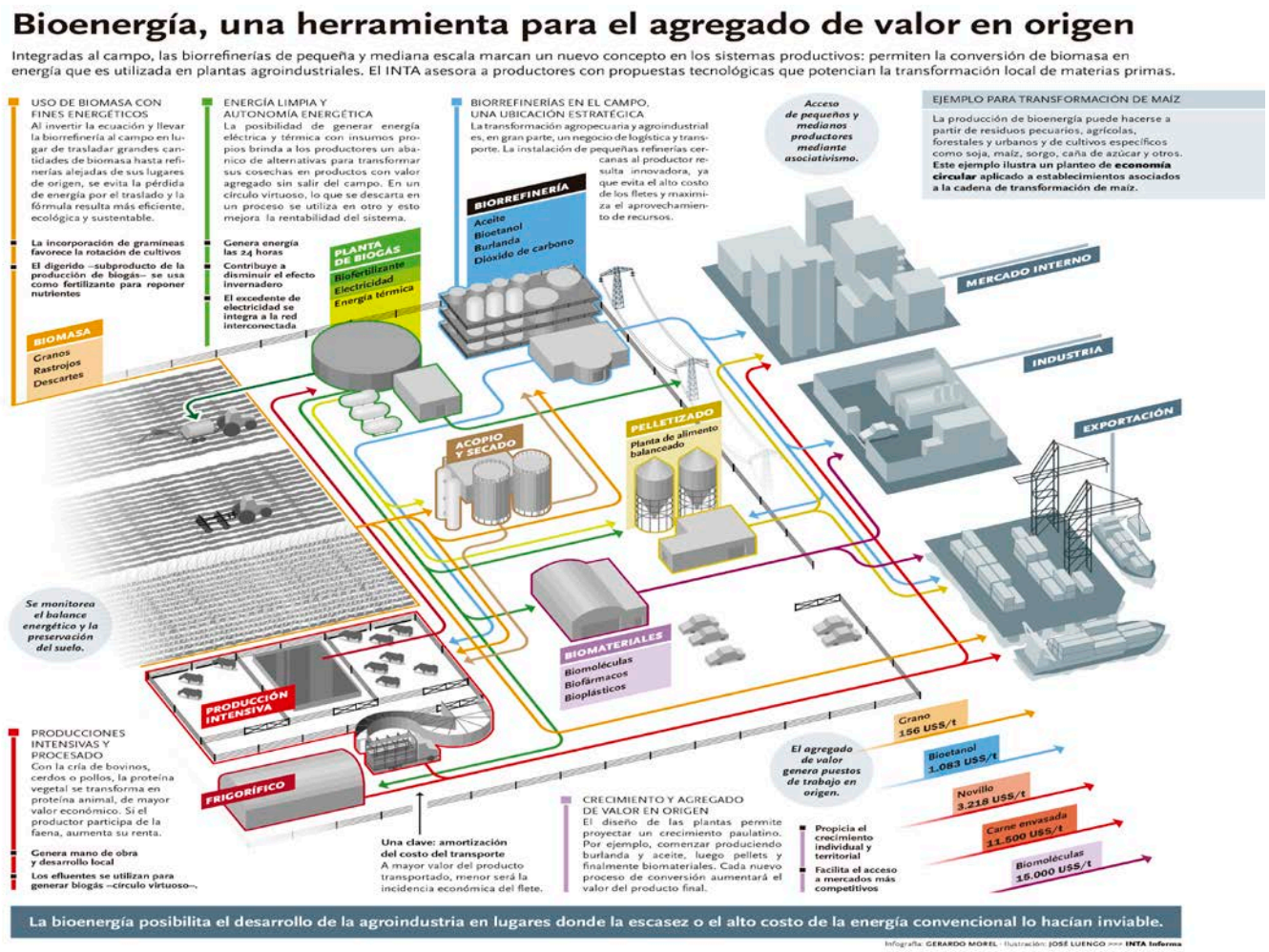
ACA Bio la planta que autogenera su consumo eléctrico, una de la más avanza del mundo.

Una planta inteligente en lo energético / eléctrico ya que por aprovechamiento de los vapores de los procesos generan la electricidad que autoconsume la planta siendo independiente del aporte eléctrico para moler y procesar 1.000 ton. diarias de maíz.

Porta Hermanos. Mini planta modular, automática y de operación remota para el procesamiento de maíz y producción de etanol/carne bovina.
En medio del campo. Planta integrada de Bioetanol 5.000.000  lts/año.

Minidestilería y su automatismo conectado integralmente a la web y el manejo de toda la planta con un solo operario controlador de los paneles y de la planta, todo se maneja a distancia.

La Bioenergía Distribuida, o sea integrada a procesos.



Incremento de valor a los granos, transformados e industrializados a su equivalente en productos de góndola (Agosto 2014).
Ej: Ración (2,6 Kg maíz + 1,3 kg soja) - 13 lts. de leche - 1 kg de Reggianito

Este ejemplo representa lo que Argentina puede llegar a constituirse como país productor y exportador de agroalimentos de consumo directo en relación a lo que exporta hoy como grano, cualquier transformación en un producto de góndola, además de ganar 40 a 100 veces la demanda de trabajo, genera un incremento de renta de 9 a 50 veces el valor del grano que le dio origen.

Incremento de puestos de trabajo desde la producción primaria hasta la góndola, esto está calculado en relación a la producción y venta de grano por el puerto de Rosario vs. el proceso hasta la góndola de productos cárnicos y lácteos.

- **Cadena láctea: 40 veces**

- **Cadena de carne bovina 104 veces**

**La sustentabilidad no se compra, se adapta día a día, no olvidar que debe ser ambiental, social y económica, y que debe contener tolerancia, equidad y viabilidad.**

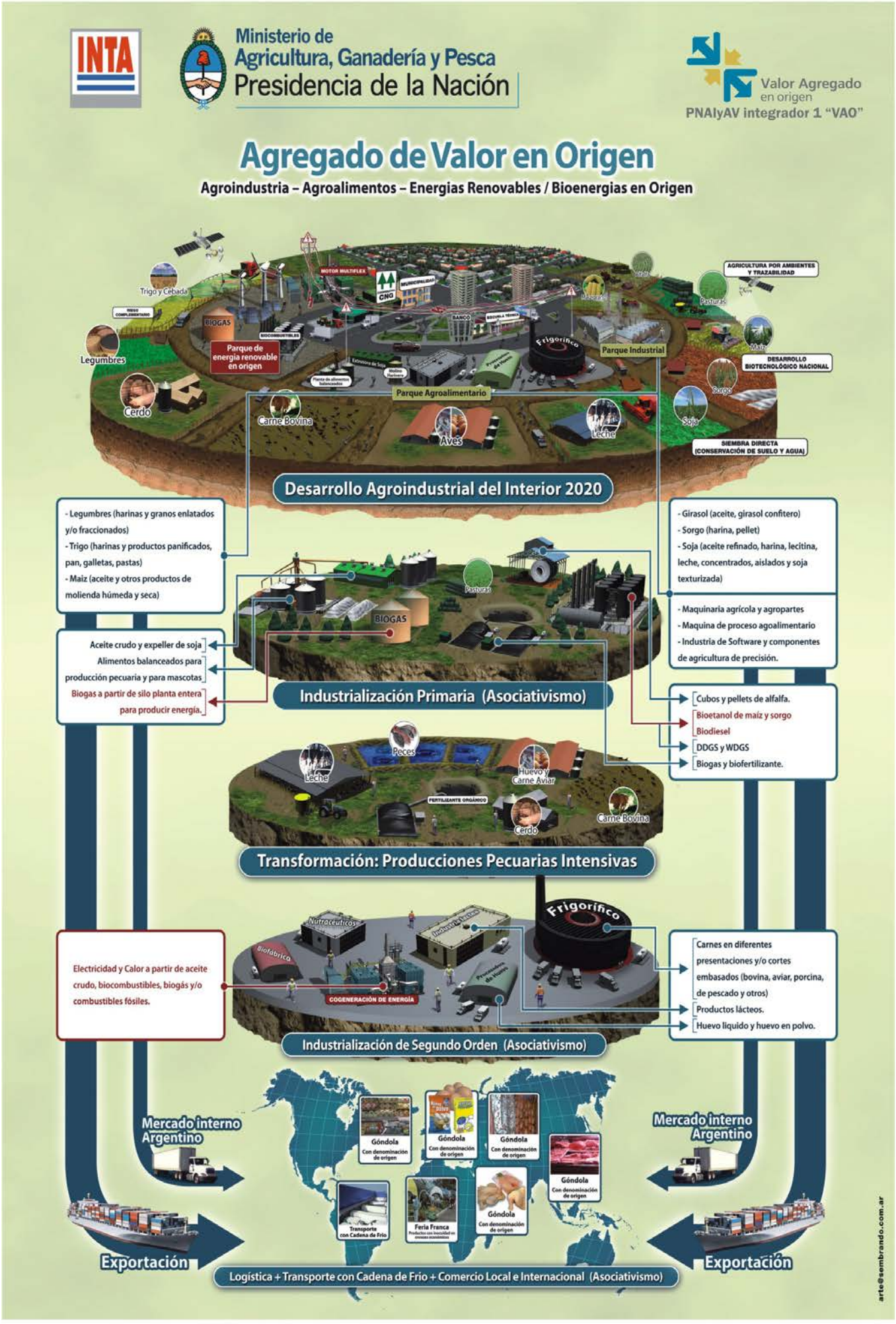
**Argentina puede y debe ser el Supermercado del Mundo de manera sustentable, y para ello será indispensable la digitalización de toda la producción y todos los procesos, con trazabilidad desde el lote hasta el plato de un restaurante.**

**Visión del desarrollo del territorio con AVO**

Proceso iniciado e implementado por los actores del territorio, para potenciar las capacidades y RRHH locales, consolidando el entramado socio-institucional la base económica-productiva.

- Considera al conjunto de actividades encadenadas en el territorio (agro, industria, comercio, servicios).
- Supera al enfoque dicotómico urbano-rural.
- Asociativismo y cooperativismo, más renta distributiva, más trabajo, más arraigo.
- Incorpora la participación estratégica de los Gobiernos Locales (Intendentes)**.**

**Modelo prospectivo de desarrollo Agroindustrial del Interior. PNAIyAV Integrador 1 "VAO"**




Imprenta: Maita Jorge - Uruguay 470 - Oncativo, Cba. - 03572 - 461031

**Debemos ingresar al túnel del cambio y el progreso, donde al final estén nuestros hijos y nietos con trabajo digno, arraigados en los pueblos del interior productivo.**

**Estrategia del desarrollo ordenado del territorio con sustentabilidad**

## BIBLIOGRAFÍA


- Evolución del Sistema Productivo Agropecuario Argentino. Autores: Bragachini, Mario; Ustarroz, Fernando; Saavedra, Alejandro; Méndez, José; Mathier, Diego; Bragachini, Marcos; Sosa, Nicolás; Alladio, Matías; Accoroni, Cecilia; Henning, Herman. Ediciones INTA. Colección Divulgación. Marzo 2017. 122 páginas.

- 16° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión, Expo de Máquinas Precisas. Recopilación de presentaciones técnicas. Capítulo: Nuevos desafíos en el Sistema Productivo de Argentina - “Cambios necesarios y estratégicos hacia un país más sustentable”. Autor: Bragachini, Mario. Ediciones INTA. Septiembre 2017. 184 páginas.
- Informe final 27° Viaje de Capacitación Técnica a Estados Unidos – INTA/Cooaveco. Autores: Bragachini, Mario; Sánchez, Federico; Ustarroz, Fernando; Urrets Zavalía, Gastón. Agosto/Septiembre 2017. 425 páginas. Sitio web: http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/viajes/27ViajeCapacitacionEEUU_InformeFinal.asp
- Informe final Misión Técnica Oficial en Agritechnica 2017, Hannover, Alemania. Autores: Bragachini, Mario; Scaramuzza, Fernando. Noviembre 2017. 15 páginas. Sitio web: http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/viajes/201711-viaje-Agritechnica-2017.asp

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

AGD Alimentos Naturales

AGD Servicios Tecnológicos agricultura creativa

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# EL PROGRESO EN LA TECNIFICACIÓN DEL AGRO

VILLARROEL, D.; SCARAMUZZA, F.; VELEZ, J.P.
EEA INTA Manfredi

## LA PROSPECTIVA DE AÑOS ATRÁS.

Trascurridos más de 20 años de Agricultura de Precisión en Argentina es válido afirmar que la prospectiva tecnológica pensada allá por los comienzos de este siglo, ha logrado alcanzar en la actualidad, evolucionar hacia procesos totalmente digitalizados, sensorizados y automatizados. Es así que hay variados ejemplos de nuevas tecnologías y conceptos de futuros desarrollos que tienen varios años de validación, como los tractores autónomos, los sistemas de pulverización selectiva por sensores activos, pasivos y de visión artificial, sistemas totalmente automatizados para la autoregulación en cosechadoras, en función de las características del cultivo que se está cosechando, sensores en las sembradoras que detectan diferentes parámetros en el suelo y permiten su caracterización según ambiente logrando una dosificación variable metro a metro. En consonancia, Argentina no queda fuera de esta revolución tecnológica, participando con desarrollos orientados en la misma línea que las firmas multinacionales. Vemos los sistemas de guiado automático de la maquinaria con giro en cabecera, sistemas de telemetría de los diferentes vehículos y herramientas, sistemas de cámaras de visión artificial capaces de lograr una aplicación selectiva en malezas, utilización de motores eléctricos para comandar de manera precisa los dosificadores de siembra, entre otras cosas.

A fines del siglo XVIII, el desarrollo de la máquina de vapor y de la mecanización marcó la *primera revolución industrial*, luego vino el desarrollo de la electricidad con fines industriales y evidenció la *segunda revolución industrial*, así, con el avance de las tecnologías de las comunicaciones, junto al gran desarrollo y uso de Internet, las energías renovables, la automatización de diferentes procesos productivos, implicó la *tercera revolución industrial o también denominada revolución científico-tecnológica*. La *cuarta revolución industrial* o industria inteligente, también industria 4.0, y Agroindustria 4.0, es la cual estamos atravesando. Propone una revolución en la organización de los recursos y procesos y de ello surgen nuevos avances tecnológicos como la robótica, el machine learning, el blockchain, biotecnologías, IOT, vehículos autónomos, nanotecnología, etc.

## REVOLUCIÓN AGROINDUSTRIAL 4.0

La revolución agroindustrial 4.0 brinda herramientas que permiten la interconexión de la maquinaria agrícola a través de IOT, a través de software y personas, a través del uso de algoritmos y modelos de simulación predictiva, del sensoramiento, automatización y robotización de las labores de siembra, fertilización, pulverización y cosecha, generando un gran volumen de información, lo que hoy es denominado “Big Data”. Estos conjuntos o combinaciones de datos, debido a su tamaño, complejidad y velocidad de generación, dificultan su captura, interpretación, gestión, procesamiento o análisis mediante el uso de tecnologías y herramientas básicas y convencionales. Por lo tanto, el uso de la Big Data cobrará cada vez más importancia para analizar, diagnosticar y obtener ideas que conduzcan a mejores decisiones y movimientos de negocios estratégicos, entre otras tantas funciones.

También hay nuevos conceptos tecnológicos como algoritmos específicos, inteligencia artificial, Blockchain, etc, que harán su aporte para generar productos transformados en

“alimentos seguros”, respaldado por la información que será demandada por el consumidor mundial, pesando en un inevitable crecimiento demográfico substancial, donde la Agricultura y Ganadería de Precisión jugaran un papel fundamental y Argentina será un claro contribuyente a la demanda global.

Los productores modernos son los encargados de cubrir esa demanda y las actividades agropecuarias que generan granos, fibras, alimentos, energías y también servicios ecosistémicos que no necesariamente estarán relacionados con el producto cosechable. Son productores que capturan energías en distintas formas y fuentes y las almacenan en diferentes maneras. El propósito es identificar la manera más eficiente con la que se puede transformar esa energía utilizando herramientas precisas en un producto con contenido digital que logre valor agregado en el gran mercado.

En esa transformación tecnológica se observa un fuerte crecimiento de las herramientas de Agricultura de Precisión y con un marcado salto exponencial desde el año 2005 hasta la fecha (Cuadro 1). Claramente se observa que en estos últimos 8 años se han incorporado nuevas tecnologías que solo son posibles gracias a la disminución del error de la señal de GPS, es decir, un incremento en el uso de las señales correctoras. Al mismo tiempo que se maximiza el uso de herramientas que hacen posible una labor más eficiente, con la posibilidad de prolongar la jornada laboral sin perder la efectividad del trabajo, como lo es el uso de Pilotos Automáticos. No obstante, el crecimiento de nuevas tecnologías en pulverización selectiva, que ayudan a generar un bajo impacto ambiental y al mismo tiempo un ahorro en la aplicación de insumos para controlar malezas, logran consolidarse como una de las herramientas que mayor demanda ha tenido el productor argentino en estos últimos 4 años.

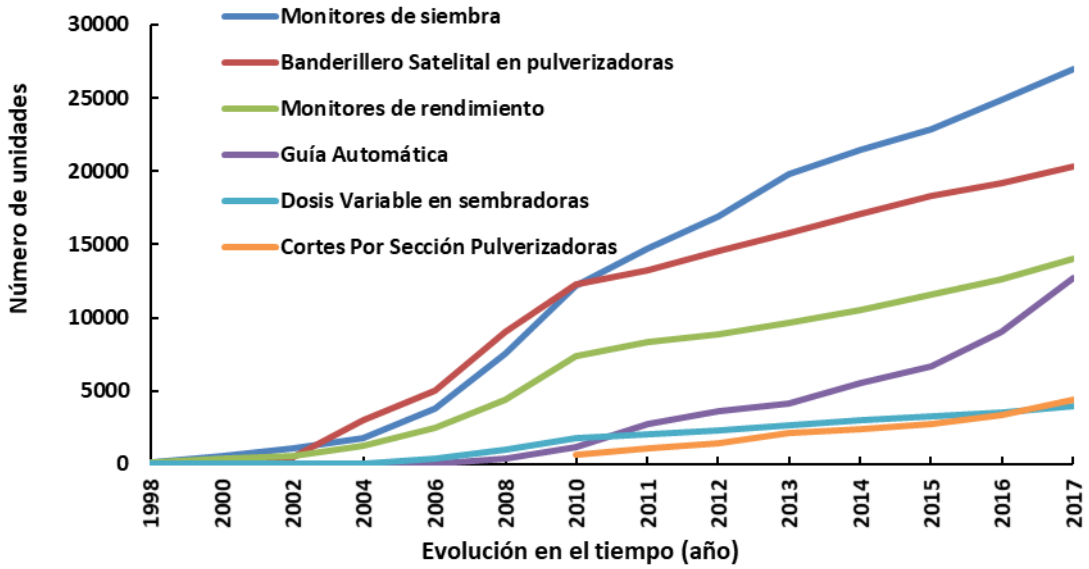
**Cuadro 1: Evolución de las herramientas tecnológicas (ventas acumuladas) de equipos de Agricultura de Precisión en la Argentina de los últimos 18 años.**

| | 1998 | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Monitores de rendimiento | 150 | 400 | 550 | 1250 | 2450 | 4450 | 7400 | 8365 | 8865 | 9643 | 10544 | 11540 | 12610 | 14050 |
| Dosis Variable en sembradoras | 1 | 3 | 9 | 37 | 417 | 997 | 1801 | 2076 | 2346 | 2679 | 2975 | 3263 | 3515 | 3982 |
| Monitores de siembra | 100 | 600 | 1100 | 1800 | 3800 | 7600 | 12160 | 14705 | 16905 | 19784 | 21426 | 22854 | 24879 | 26937 |
| Banderillero Satelital en pulverizador | 10 | 200 | 500 | 3000 | 5000 | 9000 | 12298 | 13270 | 14589 | 15797 | 17087 | 18342 | 19158 | 20307 |
| Guía Automática | | | | 3 | 50 | 400 | 1150 | 2710 | 3610 | 4120 | 5530 | 6708 | 9035 | 12680 |
| Sensores de N en tiempo real | | 2 | 5 | 7 | 12 | 15 | 27 | 30 | 32 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Cortes Por Sección Pulverizadoras | | | | | | | 640 | 1081 | 1481 | 2121 | 2410 | 2738 | 3375 | 4405 |
| Cortes Por Sección Sembradoras | | | | | | | 25 | 45 | 55 | 79 | 103 | 119 | 189 | 263 |
| Sistemas de Corrección < a 10cm | | | | | | | 50 | 110 | 200 | 210 | 360 | 823 | 2636 | 3544 |
| Sistemas de Corrección > a 10cm | | | | | | | | | | | 157 | 431 | 845 | 3162 |
| Telemetría | | | | | | | | | | 37 | 120 | 196 | 409 | 837 |
| Control Selectivo de Malezas | | | | | | | | | | | 21 | 64 | 160 | 233 |
| Sensores de N en tiempo real (mano) | | | | | | | | | | | | 80 | 101 | 103 |
| Drones Agrícolas | | | | | | | | | | | 1 | 7 | 68 | 155 |

**Fuente: Módulo Tecnologías para el equipamiento de la Agricultura y Ganadería de Precisión (INTA EEA Manfredi). Septiembre de 2018.**

Es evidente que desde la irrupción de nuevas herramientas tecnológicas el productor argentino ha haceptado y entendido este cambio como una decisión empresarial fundamental a la hora de potenciar su produción. En el Grafico 1 se observa que la evolucion de las herramientas de Agricultura de Precisión pasan por el automatismo y la efectividad de las labores a campo, pero tambien llevan un incremento paulatino, las herramientas que proponen su uso en el ahorro y manejo variable de insumos.

**Gráfico 1: Evolución de ventas acumuladas actualizadas a Septiembre de 2018.**




**EL VALOR DE LA PRECISIÓN EN COSECHA.**

El mercado de cosecha no ha pasado desapercibido y viene demostrando un marcado crecimiento tecnológico y una clara evolución en aspectos como la potencia media, el ancho de cabezal, capacidad operativa y capacidad de tolva, entre los principales lineamientos, creciendo a razón de un 6% anual en la última década, según datos del Grupo de Mecanización Agrícola del INTA Manfredi. Pero más allá del crecimiento potencial en capacidad operativa, también se vislumbraron cambios en la regulación y accionamiento de los mecanismos, generando mayor eficiencia y calidad de trabajo, con automatismo de regulación y programación de labores. Hoy cada sensor en la maquina juega un papel esencial para que el software se encargue de transformarla cada día en algo más similar a un robot de cosecha.

En el año 2017 en Argentina se vendieron 1205 cosechadoras, un nuevo incremento respecto al año 2016, del 31,5%. Incremento que se traduce de manera directa a la tecnología utilizada para la recolección de información clara para la realización de un diagnóstico de cada campaña de granos. En este sentido los Monitores de Rendimiento crecieron aproximadamente un 11% respecto de 2016. Para el ciclo 2018 se estima para el mercado de máquinas de cosecha de grano una disminución de inversión del 25 a 35% respecto al 2017, o sea que pasaría de 850 a 580 M/U$S, según datos expresado por el INTA Manfredi, lo cual impactará seguramente en el incremento de este tipo de tecnologías.

A pesar de que los números para el 2018 no son de crecimiento marcado, como los expresados en los últimos años, la importancia que conlleva la información que genera esta herramienta tecnológica, cobra cada vez más valor, algo que las empresas multinacionales no están dejando pasar por alto. Es un insumo que permite caracterizar de manera precisa diferentes ambientes dentro del lote y esto está relacionado directamente al material genético que puede ofrecer cada una de ellas en función del potencial productivo que se da en las diferentes zonas de manejo en cada campo. A partir de la información generada por los monitores de rendimiento se abren nuevas estrategias de manejo para ser ejecutadas por herramientas que harán una dosificación variable de insumos, por lo tanto, el mapa de

rendimiento, es uno de los insumos claves para avanzar en el ciclo de la agricultura de precisión.

**DEL MANEJO POR AMBIENTES A LA DOSIFICACIÓN METRO A METRO EN LA SIEMBRA.**

Después de la fuerte recuperación en el año 2016 que tuvo el mercado de sembradoras, el 2017 siguió con una tendencia alcista en ventas, comercializándose 2300 sembradoras, un 12% más respecto al año 2016 en el cual se habían comercializado 2040 máquinas. Argentina es líder mundial en adopción de Siembra Directa, abarcando el 93% del área cultivable (34 millones de hectáreas). El mercado nacional está abastecido por fabricantes locales, especializados en la siembra directa, conformado mayoritariamente por PyMEs que generan una gran oferta laboral en el interior del país. Más del 84% de las ventas se reparten entre 10 firmas nacionales, de las cuales 7 se quedan con el 70% del mercado.

Algo similar sucede con la tecnología que incorporan las sembradoras. Actualmente no puede existir en el campo una inversión de semejante envergadura y no poseer sensores vinculados a un monitor, proporcionando información básica sobre el estado de dosificación de semilla en cada línea de siembra. En el año 2017, estos monitores crecieron aproximadamente un 8% y el 95% del mercado es de origen nacional, logrando un gran avance en la información entregada, mostrando en algunos casos, la calidad de siembra lograda en cada línea, lo que se conoce como singulación.

En la última Agritechnica llevada a cabo en noviembre del pasado año en Hannover, Alemania, el 100% de las sembradoras monograno movilizaban sus dosificadores con motores eléctricos. Argentina presenta un avance en el manejo de dosis variable de aproximadamente un 13% respecto al dato registrado en 2016. De los casi 500 monitores con capacidad de realizar dosis variable comercializados, alrededor del 50% de los mismos fueron provistos con módulos eléctricos para movilizar la dosificación. Esto marca una clara tendencia hacia el manejo metro a metro de la variabilidad y la posibilidad que brindan las nuevas tecnologías que incorporan las sembradoras.

De todos modos, en este rubro hay que tener muy en cuenta la fuerte participación que tienen algunas empresas americanas en la incorporación de tecnología de precisión en siembra, equipando a las sembradoras del mercado argentino. Hay una alta demanda de tecnología de punta por parte de los productores líderes en adopción de herramientas de precisión. Es preciso aclarar que este dato no se ve reflejado en los valores expresados en el cuadro de evolución de ventas, principalmente en el apartado de Dosis Variable en Sembradoras.

**HERRAMIENTAS PARA UNA PULVERIZACIÓN SUSTENTABLE.**

La incorporación de la conectividad y la telemetría en pulverización marca un cambio de pensamiento en cuanto a la importancia y el cuidado que se debe tener ante la correcta aplicación de los diferentes fitosanitarios. No solo es importante para atención de servicio técnico preciso, para que garantice el funcionamiento de la maquinaria en óptimas condiciones, sino también para una aplicación sustentable y en el marco de las BPAs. Este mercado comercializó en 2016 y 2017 casi la misma cantidad de pulverizadoras, tanto de arrastre como autopropulsadas, más precisamente 1370 en el último año. Esta maquinaria, que tiene una fuerte adopción, tanto por productores como por contratistas, está cada vez más equipada tecnológicamente, donde el banderillero satelital, que fue una de las herramientas pioneras en el mercado local y que tuvo grandes crecimientos entre los años

2004 a 2010, hoy se presenta en una pantalla con barra de luces incorporada, guía automática y corte por secciones, o bien pico a pico con mayor precisión. No es desacertado pensar que, en pocos años, los diferentes equipos de pulverización estarán controladas desde un Smartphone en su gran mayoría y cumpliendo normativas de reglamentación.

Al avance de la introducción de tecnologías en pulverización no podemos dejar de mencionar las más de 230 máquinas instaladas con sensores selectivos de malezas. Esta inversión en el 2014 fue muy somera, pero hoy es una realidad en la eficiencia de uso de fitosanitarios con ahorros que rondan aproximadamente un 65% de producto y aportan a la sustentabilidad del ambiente productivo mejorando las decisiones agronómicas, económicas y agroecológicas. A la vez que generan tendencias en los equipos de pulverización de fabricación nacional, que piensan en cómo brindar un botalón de mejor calidad y estabilidad, sumado a la posibilidad de configuran la disponibilidad de tanques para el preparado de diferentes caldos. No obstante, la inteligencia artificial y la incorporación de algoritmos específicos son nuevas tecnología que están participando, tanto en empresas nacionales como multinacionales, en la detección y aplicación de fitosanitarios sobre malezas en barbechos y en cultivos establecidos.

Por último, es preciso dejar claro que el número de ventas de Drones está solamente relacionado al rubro agrícola y con el dato aportado por las principales empresas que hoy comercializan estos equipos en el mercado argentino. En función de ello, es correcto pensar que el número de Drones utilizados para la actividad agropecuaria es mucho mayor, solo que no todos incorpora cámaras específicas para detectar diferentes índices en los cultivos, sino que muchos de ellos son utilizados para establecer un monitoreo básico tanto en la actividad agrícola como ganadera. Existen nuevas empresas que están incurriendo en la comercialización de esta tecnología que seguramente en los próximos años dejarán más en claro la real adopción. Por lo pronto, la demanda de información y capacitación es una realidad, pero también es cierto que todavía es una herramienta que necesita crecer técnicamente en cuanto a su utilidad efectiva en el sistema agropecuario argentino.

Como se puede analizar, el crecimiento general de las principales herramientas de agricultura de precisión, en este último año siguió siendo marcado, pero se dio de manera paulatina, con mayor magnitud en algunos rubros y con menor crecimiento en otros. De todos modos, el productor argentino, sigue demandando tecnología de precisión para hacer más eficiente su producción, donde la utilización de insumos de manera eficiente, la incorporación de maquinaria inteligente y las decisiones de manejo juegan un papel fundamental en los costos de producción.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

agroactiva®

Secretaría de Agroindustria

Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# EVOLUCION Y CAMBIOS EN LA ADOPCIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN ARGENTINA

**Melchiori, R.J.M.[1]; Albarenque, S. M.[1]; Kemerer A.C[1,2].**

[1]EEA INTA Paraná, Ruta 11, km 12.5, (3101), Oro Verde, Entre Rios, Argentina
[2]Facultad de ciencias Agropecuarias-UNER, Ruta 11, km 10.5, (3101), Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
melchiori.ricardo@inta.gob.ar
albarenque.susana@inta.gob.ar
kemerer.alejandra@inta.gob.ar

## INTRODUCCIÓN

La Agricultura de Precisión (AP) evolucionó en el mundo desde fines de los 80, la difusión de tecnologías y prácticas se asoció desde el comienzo con informes de empresas y artículos de prensa (Reetz, 2000). Otro mecanismo estrechamente asociado a la difusión ha sido el crecimiento de internet para el intercambio de información y el progresivo uso de redes sociales en los últimos años.

En Argentina, el INTA comenzó a difundir y evaluar técnicas de AP desde fines de los 90, realizando experiencias con monitores de rendimiento. A partir del año 1999, el INTA institucionalizó un Proyecto de Agricultura de Precisión (PROCISUR, 2001). Este proyecto originó desde su inicio redes de colaboración con empresas, asesores especializados y productores innovadores. Asimismo, empleó la realización de conferencias anuales y demostraciones como estrategia de difusión. Esta forma de trabajo fue similar a la promovida en USA desde 1995 en la Conferencia sobre Información para la Agricultura (InfoAg) del Potash and Phosphate Institute y la Conferencia de investigación en Agricultura de Precisión de la Universidad de Minnesota (Reetz, 2002).

A inicios del 2000, Swinton y Lowenberg-Deboer, señalaron como esperable una adopción más acelerada en países donde el recurso tierra fuese abundante y la mano de obra costosa o limitante. Esta situación, similar a la observada en Argentina en los últimos años, fue tempranamente anticipada en informes preliminares del INTA (INTA Manfredi, 2000), y ha sido superada según los registros de venta de equipos (Bragachini, et al 2012).

La AP está vinculada a las tecnologías de la información y comunicación (TIC) (Pierce y Nowak, 1999), por lo que es esperable que los interesados o adoptantes de AP las utilicen (Kitchen et al., 2002). Por este motivo, el uso de encuestas electrónicas permitiría recabar información sobre el estado de adopción, limitantes y problemas. Similar metodología ha sido empleada en USA, Australia, y países de Europa (Dabberkow et al., 2003; Robertson et al., 2012; Reichardt et al., 2009;).

Evaluar el estado de situación de la adopción de la AP en Argentina, es relevante para determinar barreras a la adopción, usos y problemas generales. Esta información contribuirá a evaluar el impacto de las acciones de difusión, capacitación y experimentación desarrolladas por el INTA en los últimos 20 años.

El presente trabajo tuvo como objetivos i) conocer la evolución y cambios en la adopción de herramientas de AP en Argentina en el periodo 2013-2018.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los relevamientos se realizaron mediante encuestas electrónicas distribuidas por e-mail, que estuvieron disponibles en una página Web desde enero hasta abril de 2013 y 2018. La distribución se realizó a través de listas de direcciones electrónicas existentes en las estaciones experimentales y agencias de extensión de INTA participantes del Proyecto de Agricultura de Precisión, Colegios de Profesionales de la Agronomía y Facultades de Ciencias Agropecuarias. Brevemente, la estructura de la encuesta consideró cuatro aspectos: uno general para caracterizar a los encuestados, otro orientado a recabar información sobre el conocimiento

de equipos y herramientas de agricultura de precisión disponibles, el tercero a determinar el uso dado a las tecnologías y prácticas para el manejo por ambientes, y de manera más particular se recabó información sobre las limitantes a la adopción y los principales problemas del uso de las tecnologías de AP (Figura 1). La información recopilada se procesó en planillas de cálculo para determinar los porcentajes de acuerdo a divisiones establecidas en base a preguntas clave sobre el uso de tecnologías de AP y el procesamiento de la información. Las limitantes al uso de la AP se relevaron a partir de quienes afirmaron no usar herramientas y tecnologías de AP, mientras que los problemas en el uso se relevaron a partir de quienes respondieron que utilizan herramientas y tecnologías de AP (Figura 1).

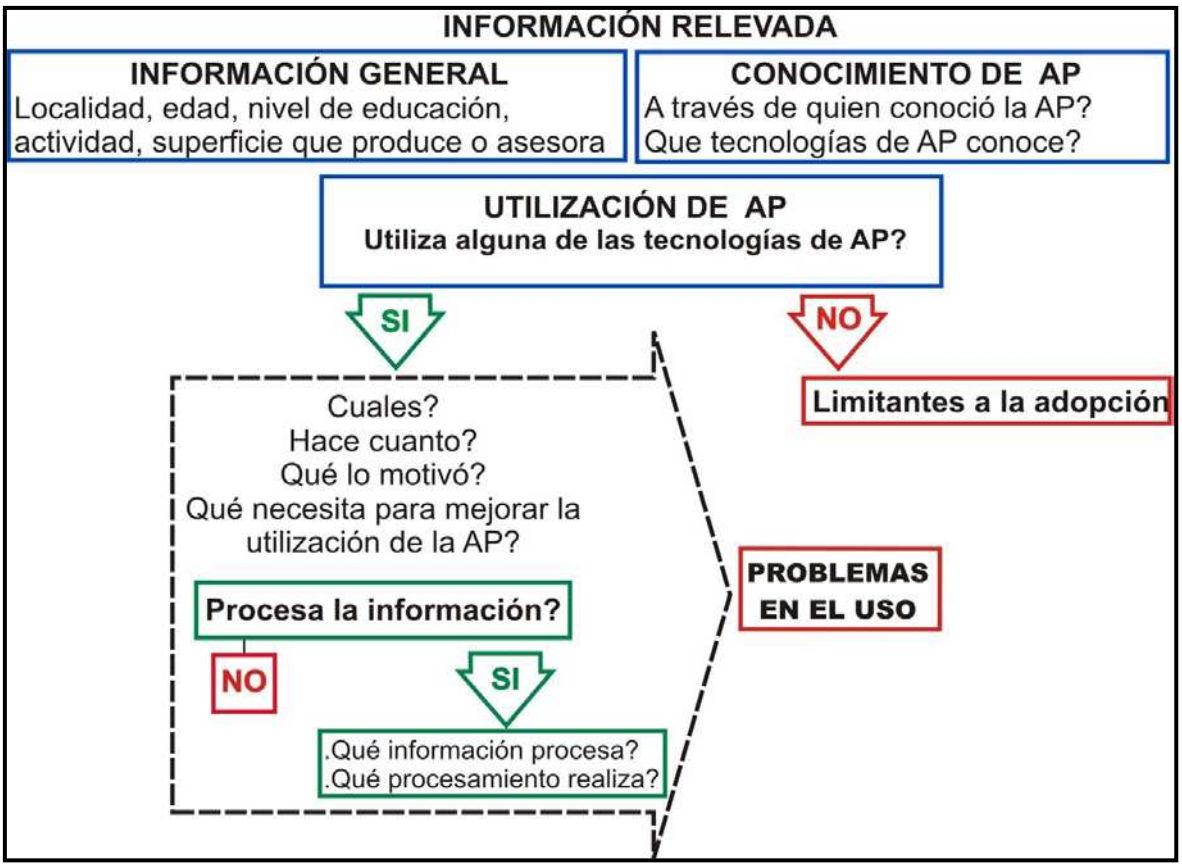



**Figura 1. Esquema general de la encuesta**

**RESULTADOS**

**Información general**

Los resultados obtenidos en 2013 se concentraron principalmente en el área de mayor ocupación agrícola de la región pampeana, totalizando el 82% entre las provincias de Buenos Aires (24%), Santa Fe (20%), Entre Ríos (20%) y Córdoba (18%). De las restantes provincias se destacó la participación de La Pampa (7%) y Salta (4%) (Figura 2). En el relevamiento en 2018 el 85% de los resultados se concentraron en Buenos Aires (32%), Córdoba (28%), Entre Ríos (16%) y Santa Fe (10%), mientras que provincias como Tucumán (4%), Salta (3%) y la Pampa (2%), totalizaron un 9% de los resultados.

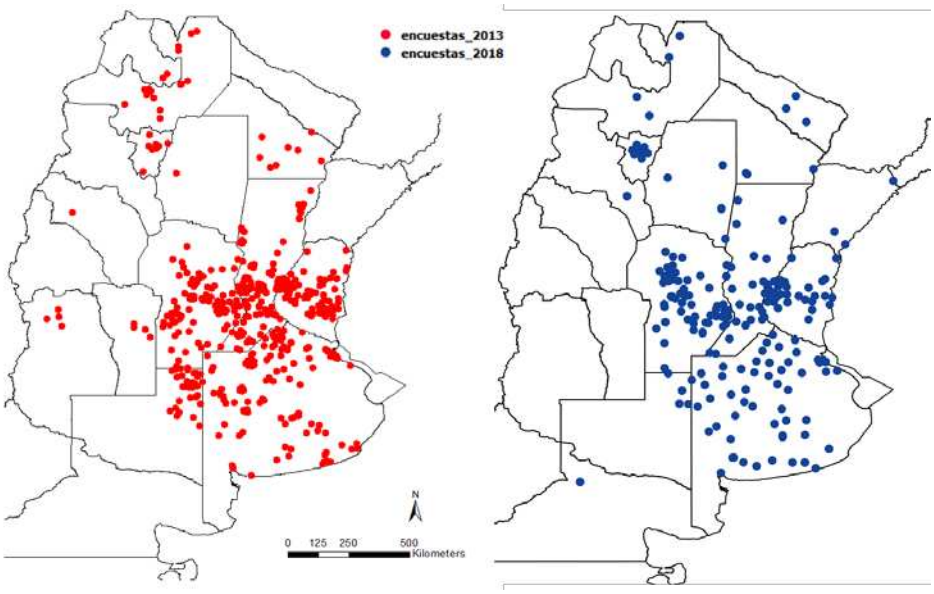



**Figura 2.** Mapa de distribución de los encuestados.

Por otro lado, respecto a las herramientas y técnicas utilizadas por quienes ya han adoptado la AP, los mayores cambios, entre 2013 y 2018, se observan en algunas herramientas que ya habían mostrado un nivel de adopción importante como los pilotos automáticos, que incrementaron su participación de 40 a 61%, los sistemas de corte por surco en sembradoras de 7 a 21%, los sistemas de siembra y fertilización variable de 27 a 35%, y de 29 a 41%, respectivamente. Además de estas herramientas, los sensores para el control sitio específico de malezas que pasaron de 4 a 11%.

Uno de los cambios observados entre los usuarios de AP, es la incorporación de plataformas Web de gestión de información así como el uso de drones, tecnologías que surgieron en el último tiempo y no fueron relevadas en el 2013. A pesar de su reciente incorporación al mercado, su adopción alcanza el 34% y 40% de quienes practican la AP (figura 3), respectivamente. Entre las fuentes de información disponibles para manejo por ambientes, los mapas de suelo fueron los más reportados, con un aumento de 58 a 72% (figura 3). Las imágenes satelitales incrementaron su uso en un 19%, respecto del 2013.

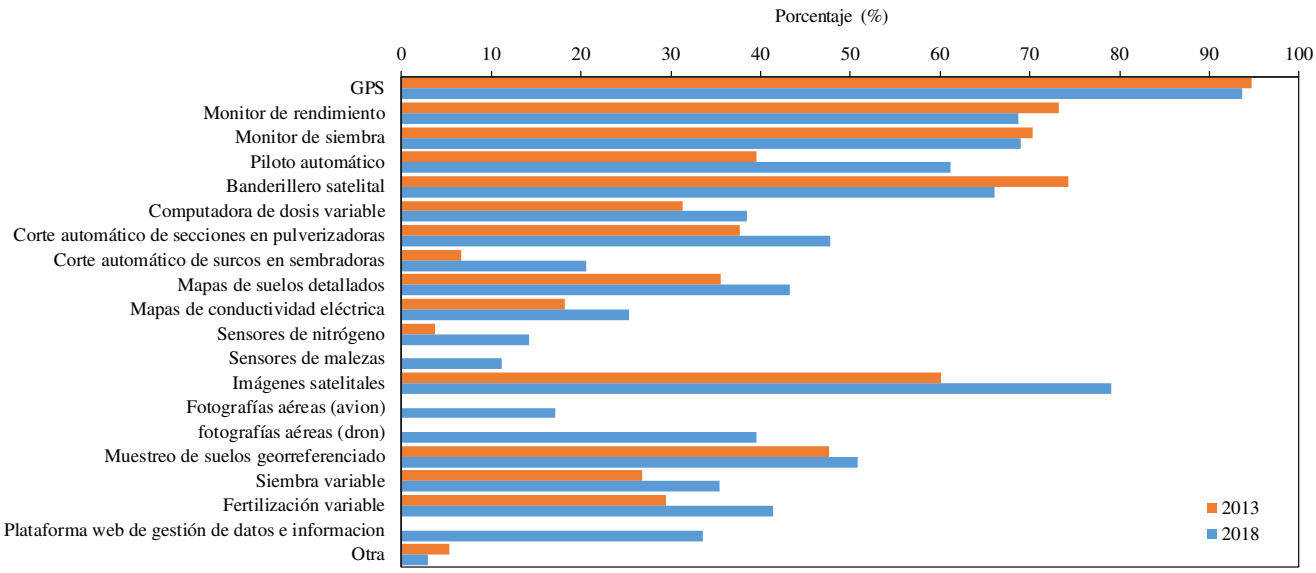



**Figura 3.** Resultados comparativos de la adopción de herramientas y técnicas de agricultura de precisión desde el inicio en Argentina hasta 2013, y entre 2013 y 2018.

Uno de los aspectos llamativos que se observó en el nuevo relevamiento, es un cambio en la percepción de los potenciales usuarios en cuanto a los factores reportados como más limitantes a la adopción de la AP. Siendo el costo de las herramientas y técnicas, el factor que cobró mayor relevancia en el 2018, a diferencia de lo relevado en 2013, donde la falta de especialización fue el factor más limitante, decreciendo éste de un 60 a 38% (Figura 4). El contexto económico de los últimos años (disminución relativa del precio de los granos), probablemente es causa del cambio de percepción ante la posibilidad de adopción.

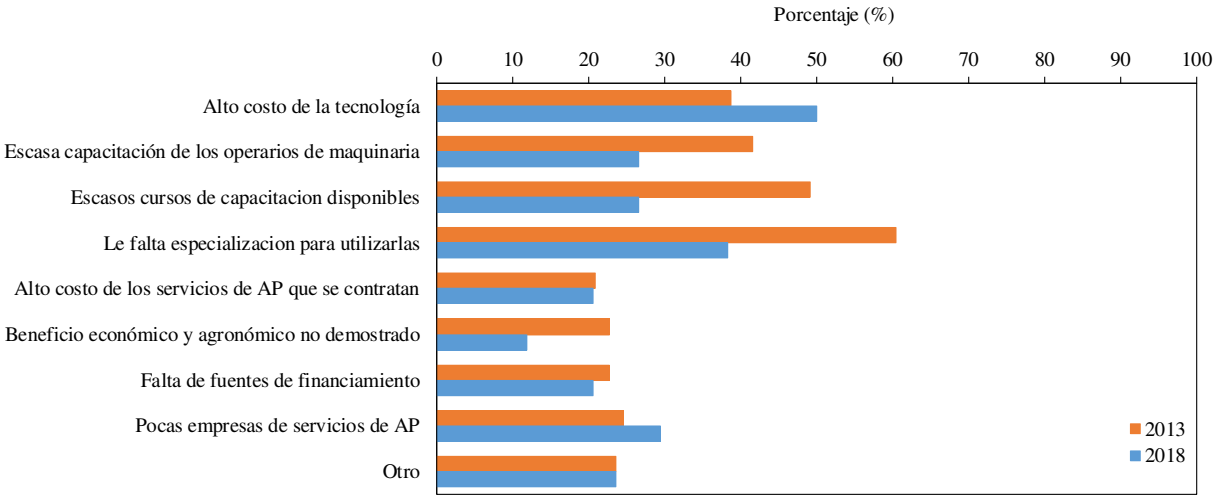



**Figura 4**. Resultados comparativos de las limitantes a la adopción de la agricultura de precisión en Argentina desde el inicio hasta 2013, y entre 2013 y 2018.

De manera general, el 66% de los usuarios de AP aseguró que realiza algún procesamiento de la información generada a partir de herramientas de AP. Un punto de especial interés, ha sido determinar qué datos se utilizan y cómo se transforman en información, es decir qué tipo de procesamiento se realiza. Se registró de manera llamativa un decrecimiento en el procesamiento de mapas de rendimiento (87 a 77%), lo cual quizás se esté reemplazando con el uso de imágenes, que pasaron del 66 al 84%. También se determinó que el 34% de los usuarios relevados utiliza información derivada de drones, mientras que en el 2013 el uso de herramienta era incipiente. Asimismo, se incrementó el uso de mapas topográficos de 27 a 41% (figura 5).

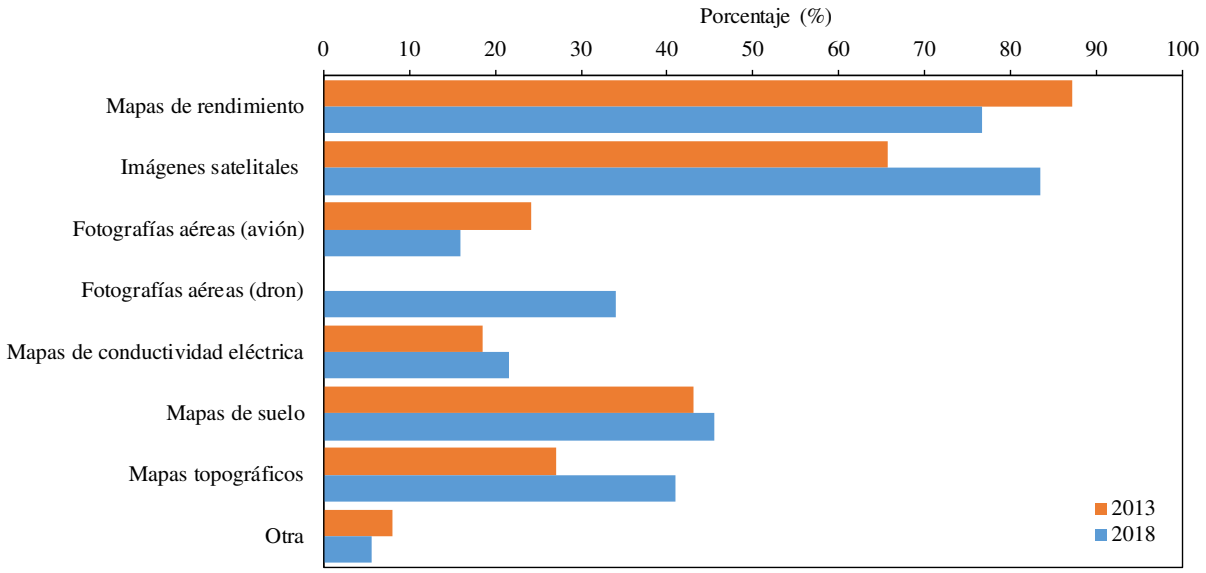



**Figura 5.** Resultados comparativos de las fuentes de información de agricultura de precisión utilizadas desde el inicio en Argentina hasta 2013, y entre 2013 y 2018.

La información relevada en 2013 permitió detectar las necesidades de los usuarios para mejorar la utilización de las prácticas de AP. Se redireccionaron las acciones desde el Proyecto de Agricultura de Precisión del INTA enfatizando las capacitaciones, efecto que se revela como efectivo, en tanto estos aspectos dejan de destacarse como mayormente limitantes. Es importante resaltar que del 27% de los usuarios que asistió a cursos o encuentros de capacitación, el 80% de ellos procesa mapas de rendimiento e imágenes satelitales. Asimismo, también es destacable que el 85% utiliza esta información para delimitar zonas de manejo.
Actualmente, se visualiza un crecimiento del uso de herramientas asociadas al manejo variable de insumos y equipos dotados de sistemas de corte por secciones en siembra y fertilización.

En general, respecto al procesamiento que realizan los usuarios de la información obtenida a través de herramientas de AP, no se encontraron diferencias respeto a los resultados obtenidos en 2013. Siendo la visualización de datos sin su procesamiento, el principal uso dado a los mismos (90%). Por otro lado, surgen evidencias de un mayor uso de los datos para generar información en la delimitación de ambientes y manejo variable de semillas y fertilizante (figura 6).

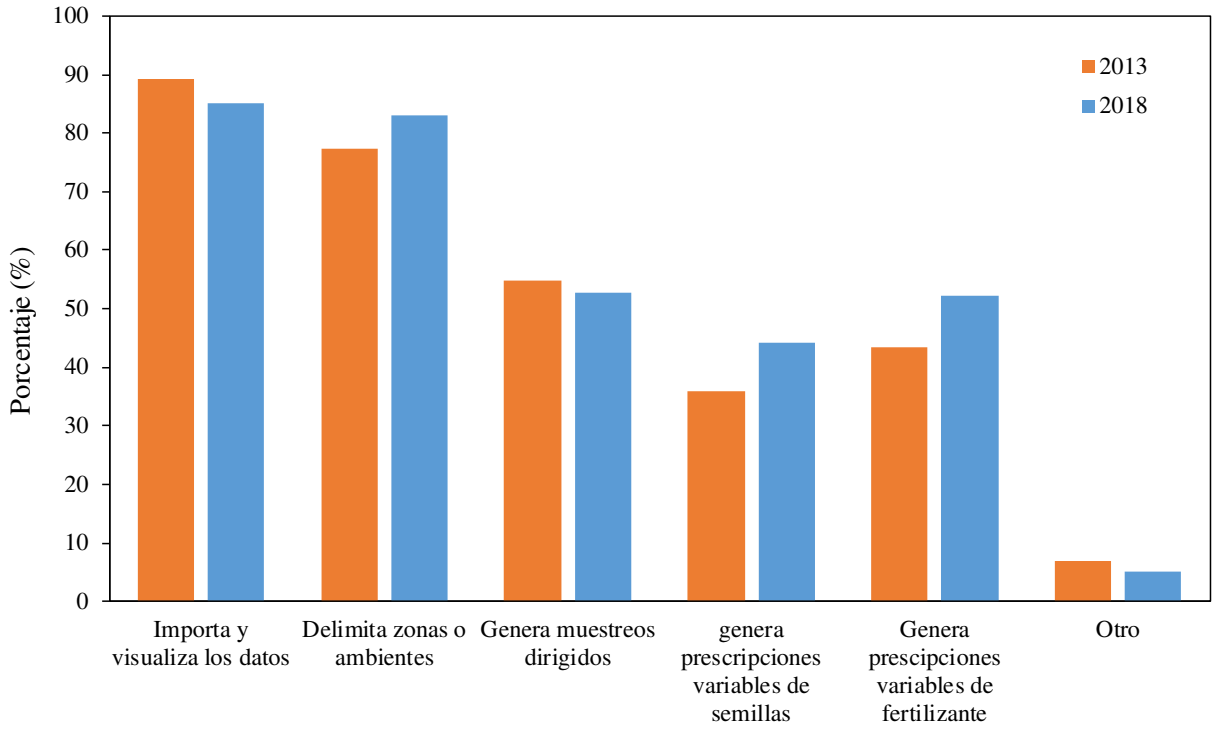



**Figura 6.** Procesamiento de la información realizado por los usuarios de agricultura de precisión en Argentina, resultados de relevamientos: realizados en 2013 y 2018.

Al analizar los problemas que han enfrentado los usuarios de AP (figura 7) se observa un incremento de los que consideran que el procesamiento de los datos requiere mucho tiempo, así como de los que destacan la escases de la información agronómica para el manejo variable de los insumos. Al parecer, tanto el funcionamiento de los equipos y su compatibilidad, al igual que el soporte técnico han mejorado en los últimos 5 años.

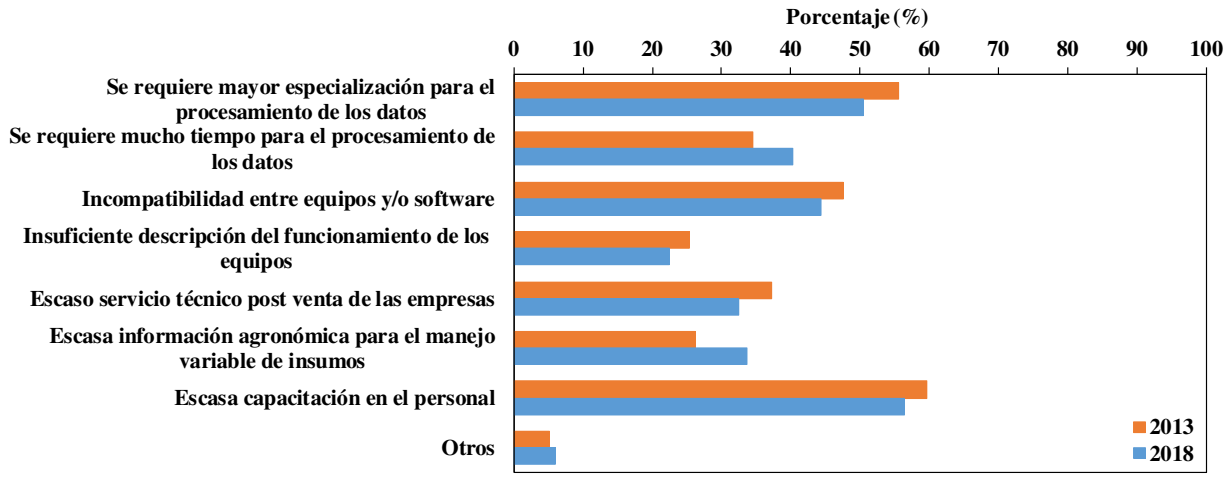



**Figura 7.** Resultados comparativos de las problemas que se han enfrentado los usuarios de agricultura de precisión, desde el inicio en Argentina hasta 2013, y entre 2013 y 2018.

## CONSIDERACIONES FINALES

La realización de este tipo de estudios permite determinar aspectos sobre los que se pueden direccionar trabajos de experimentación, capacitación y difusión, para contribuir a un mejor uso de las herramientas y prácticas.

La marcada disminución de la falta de capacitación como limitante a la adopción, pone en evidencia las acciones llevadas a cabo desde el proyecto de Agricultura de Precisión del INTA con el acompañamiento de otros actores (empresas e instituciones).

Este relevamiento muestra cambios significativos en la adopción de herramientas como pilotos automáticos, sistemas de cortes por sección, y de dosis variable, los que crecieron de manera marcada. Por otra, parte el uso de sensores para control sitio específico de malezas ha sido importante, así como el uso de drones y plataformas Web a pesar de ser recientes, evidenciaron ser utilizados en gran medida.

Finalmente, el procesamiento de datos que realizan los usuarios de AP no ha cambiado considerablemente en los últimos 5 años. Lo que podría relacionarse al tiempo y la especialización que demanda el procesamiento de la información para la toma de decisiones de manejo.

## BIBLIOGRAFIA


Bragachini, M.; Mendez, A.; Scaramuzza, F.; Velez, J. P. y Vilarroel, D. 2010. Dosificación variable de insumos. En 9no Curso Internacional de Agricultura de Precision y 4ta Expo de Maquinas Precisas, Córdoba-Argentina. 137-146.

Dabberkow, S. G. y Mc Bride, W.D. 2003. Farm and coperator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. Precision Agriculture, 4, 163-177.

Ferguson, R. B. 2002 Educational resources for precision agriculture. Precision Agriculture, 3, 359–371.

Kitchen, N. R.; Snyder, C. J., Franzen, D. W y Wiebold, W. J. 2002. Educational needs of precision agriculture. Precision Agriculture, 3, 341–351.

Melchiori R.J.M., Albarenque S.M. y A.C. Kemerer. 2013. Uso, adopción y limitaciones de la Agricultura de Precisión en Argentina. 12° Curso de Agricultura de Precisión y Expo de Máquinas Precisas.

Pierce, F.J. y Nowak, P., 1999. Aspects of precision agriculture. Adv. Agron. 67, 1–85.

Reetz, H. F.Jr. 2002. Using conferences and workshops for technology training. Precision Agriculture, 3, 319–325.

Reichardt, M. y Jürgens C. 2009. Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. Precision Agriculture, 10, 73-94.

Robertson, M. J.; Llewellyn, R. S.; Mandel, R.; Lawes, R.; Bramley, R. G. V.; Swift, L.; Metz, N. y O'Callaghan, C. 2012. Adoption of variable rate fertilizer application in the Australian grains industry: status, issues and prospects. Precision Agriculture, 13,181–199.

Swinton, S. M. y Lowenberg-Deboer, J. 2002. Global adoption of precision agriculture technologies: who, when and why? En actas 2nd International Conference on Precision Agriculture. 557-562

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

BOSCH

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# NUEVAS OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS PRODUCTIVOS EN ARGENTINA: RESULTADOS DE LA PRIMERA ENCUESTA NACIONAL A EMPRESAS DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DE PRECISIÓN

**Jeremías Lachman, Laura Cappelletti, Andrés López**

IIEP Baires UBA-CONICET

## 1.INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los principales resultados obtenidos de la Primera Encuesta Nacional a Empresas de Agricultura y Ganadería de Precisión. Este proyecto fue elaborado por investigadores del Instituto Interdisciplinario de Economía Política (IIEP Baires) de la Facultad de Ciencias Económicas de la UBA y afilado a CONICET. A su vez, el proyecto contó con el apoyo del INTA Manfredi y del Ministerio de Producción de la Nación.

El objetivo del presente trabajo es elaborar un diagnóstico inicial de la situación de las empresas dedicadas al desarrollo de tecnologías de precisión para el agro y la ganadería, así como también del desarrollo de TICs para estas actividades de base biológica en la Argentina. En particular, se busca conocer los rasgos estructurales de estas empresas (en términos del origen, facturación, empleo y exportaciones), sus principales logros, rutinas y recursos humanos empleados para la innovación, y por último los principales obstáculos que enfrentan para su crecimiento.

En este informe se presenta un primer recorte de estos resultados. La encuesta elaborada fue completada hasta el momento por más de 70 empresas del sector. A su vez, se realizaron entrevistas a diversos actores relevantes, incluyendo gerentes de empresas, expertos, referentes sectoriales y funcionarios de áreas públicas ligadas a estos temas.

## 2.RESULTADOS

### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SECTOR

En términos generales, se puede destacar la presencia de tres grupos distintos de empresas que componen a este sector distinguidas en base al tipo de producto o servicio que ofrecen en el mercado. De este modo, se puede clasificar a las firmas entre: i) aquellas dedicadas al desarrollo de equipos y maquinarias de precisión –llamadas en este informe empresas de "agropartes precisas"-; ii) las empresas que proveen servicios basados en conocimiento (SBC) a partir de plataformas de TICs para la agricultura de precisión –llamadas "SBC de AP"- y iii) los emprendimientos que prestan servicios ligados al uso de TICs en diversos eslabones del agro –llamadas "AgTech"-.

Si bien hay una serie de espacios compartidos entre las mismas, la principal diferencia entre estas se basa en el negocio principal -unas dedicadas a desarrollar bienes y otras a proveer servicios- y en la orientación de las mismas –algunas directamente ligadas a los procesos de producción biológicos, mientras que otras operan en diversos eslabones de la cadena, o incluso en otros mercados.

De este modo, el primer grupo está orientado a desarrollar y/o comercializar equipamiento que es implementado –en la etapa de fabricación o a *posteriori*- en la maquinaria agrícola. Estos equipos tienen usos muy diversos, entre los cuales se puede destacar la captura de datos e información del proceso productivo biológico, ahorrar costos de insumos y/o reducir impactos ambientales –a partir de una aplicación mucho más eficiente de aquellos-, así como también algunos están orientados a cumplir con las prescripciones agrícolas planeadas.

Cabe señalar que este primer grupo está integrado por un colectivo ampliamente heterogéneo de empresas. Estas diferencias se basan centralmente en términos del origen –tanto temporal como técnico, donde, por ejemplo, algunas provienen de una base ligada al desarrollo de implementos mecánicos, mientras que otras están mucho más asociadas a los componentes electrónicos-, el tamaño –ya sea por la cantidad de personal empleado como en la facturación promedio alcanzada- y las capacidades para el desarrollo de tecnologías –mientras que en algunas se destacan rutinas permanentes orientadas a pensar y desarrollar innovaciones, otras lo hacen de forma mucho más esporádica-.

A su vez, otro espacio de distinción dentro de este grupo radica en los modelos de negocios que sustentan la actividad. Mientras que algunas firmas desarrollan equipos principalmente para otras empresas de maquinaria agrícola, otras también llegan hasta el consumidor final. Asimismo, la integración con empresas de maquinaria agrícola está enfocada a aquellas de capitales nacionales o en algunos pocos casos, con empresas regionales. Las multinacionales del sector no evidenciaron vínculos estrechos con el entramado productivo de las firmas de agropartes de precisión.

A su vez, las posibilidades de exportación y de ingreso a cadenas globales de valor está presente en un número relativamente acotado de las firmas de agropartes de precisión. De este modo, se destaca que una parte mayoritaria de estas firmas esté fundamentalmente orientada al mercado interno.

Tanto el segundo como el tercer grupo de firmas están ligados al desarrollo de servicios basados en el uso de plataformas TICs. Sin embargo, mientras el segundo grupo tiene una orientación directa hacia los procesos de producción a campo, el tercer grupo provee servicios más diversos que pueden aplicarse sobre distintas etapas de la cadena. Ambos grupos tienen en común el hecho de estar sustentados sobre plataformas ligadas a las TIC para prestar los servicios respectivos y los emprendimientos son mucho más recientes y pequeños –en términos de empleo y facturación- en relación al primer grupo.

En particular, las firmas que integran el segundo grupo en general basan sus servicios a partir de un proceso compuesto por la captura de datos –tanto a través de imágenes aéreas, satelitales, datos de sensores y/o de estaciones meteorológicas-, el procesamiento de los mismos –con la utilización de algoritmos computacionales- para luego ser entregados de forma relativamente sencilla a los usuarios finales, quienes acceden a los mismos a partir de plataformas digitales.

Los usos de estos servicios por parte de las empresas de producción agrícola tienen una amplia variedad, asociada en parte a la alta customización que caracteriza a los SBC en general. Sin embargo, y de forma muy genérica, sus principales usos se sintetizan en tres aspectos centrales: i) producción por ambiente[1]; ii) monitoreo de cultivos y/o del rodeo[2]; iii) controles operativos[3].

Por último, el tercer grupo de empresas ofrece un conjunto de servicios ligados a las diversas necesidades que emergen en los eslabones de las cadenas de valor agropecuarias y agroindustriales. El uso de estas tecnologías plantea, por ejemplo, la posibilidad de obtener fondos de financiamiento para producciones biológicas de fuentes alternativas a las convencionales, la aplicación de contratos a partir de la tecnología *blockchain* o el desarrollo de innovaciones orientadas a reducir costos e ineficiencias en la logística para el transporte de la producción.

[1] A partir de un conocimiento más preciso de la multiplicidad de ambientes que conviven en un determinado espacio, los productores pueden adoptar decisiones dirigidas a explotar el máximo potencial de cada uno de estos microambientes.

[2] A partir de dispositivos específicos –como drones o imágenes satelitales en agro o cámaras para el caso de producciones pecuarias-, el usuario de este servicio puede mantener un monitoreo completo y sistemático de su producción. Esto permite, por ejemplo, la detección temprana de plagas en cultivos agrícolas.

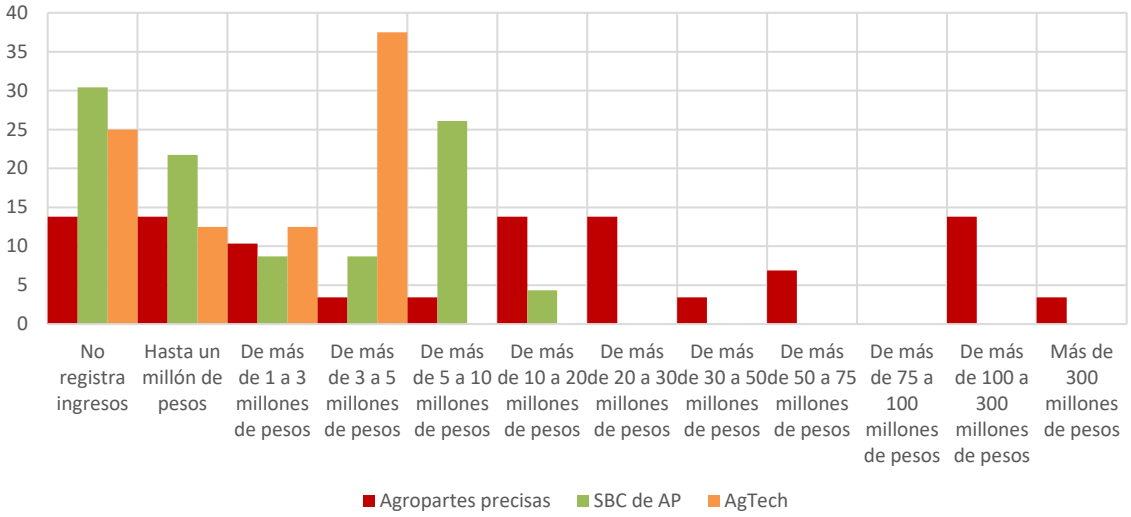
[3] Se trata de servicios que, a partir de los datos georreferenciados capturados y del procesamiento de los mismos, pueden dar a conocer en tiempo real las tareas operativas que se están llevando a cabo.

En relación a la edad de las empresas, las más antiguas en el sector son aquellas dedicadas al desarrollo de agropartes precisas, siendo significativamente más recientes aquellas que conforman a las empresas que brindan servicios de base TIC para la agricultura y la ganadería. A su vez, las empresas que integran estos tres grupos se caracterizan por ser principalmente independientes –es decir, no forman parte de otras empresas-, y por tener baja participación de capital extranjero. Sin embargo, en este último aspecto hay algunas excepciones en los tres grupos.

En cuanto al tamaño de las empresas, las de agropartes precisas son significativamente más grandes que las prestadoras de servicios, tanto si se mide por facturación como por personal empleado. El Gráfico 1 muestra la participación porcentual de las empresas correspondientes a cada grupo en relación a su facturación por ventas asociadas a la agricultura de precisión. Las barras en rojo representan las empresas productoras de máquinas y equipos de precisión, en verde las empresas oferentes de servicios de agricultura de precisión (SBC de AP) y en naranja las empresas que ofrecen servicios para los distintos eslabones de la cadena de valor agraria y ganadera (AgTech).

Gráfico 1. Participación de las empresas por segmento de ingresos por ventas ligadas a agricultura de precisión en el año 2017

- En términos porcentuales -



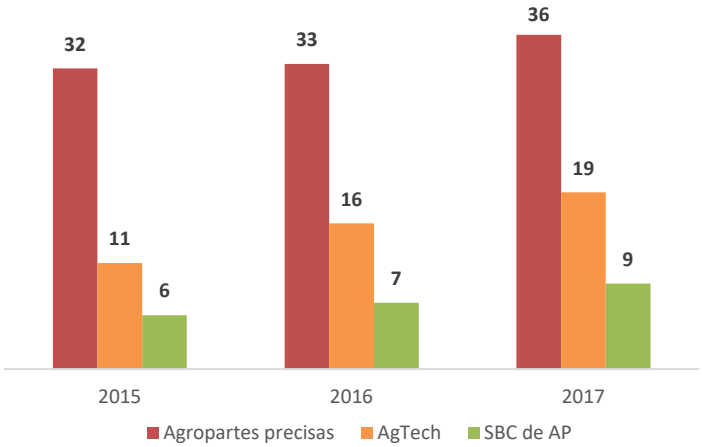

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el Gráfico 1 que el mayor porcentaje de firmas de agropartes precisas se ubicó dentro de los rangos de 10 a 20 y 20 a 30 millones de pesos de facturación en el año 2017, aunque también hay firmas que ocupan los rangos de mayor valor. Por otro lado, las empresas de servicios se ubicaron en rangos menores, siendo significativo el número de ellas que todavía no registró ingresos. Esta situación da cuenta de un conjunto de firmas que se encuentra en pleno proceso de gestación, donde su inserción en el mercado todavía no es estable.

Por su parte, el Gráfico 2 muestra la cantidad promedio de empleados por grupo de empresas y su evolución en los últimos tres años. Se puede ver que las mayores empleadoras son las de agropartes precisas y que, en todos los casos, el empleo promedio ha aumentado levemente entre 2015 y 2017.

Gráfico 2. Personal total empleado

- Promedio por grupo de empresas -

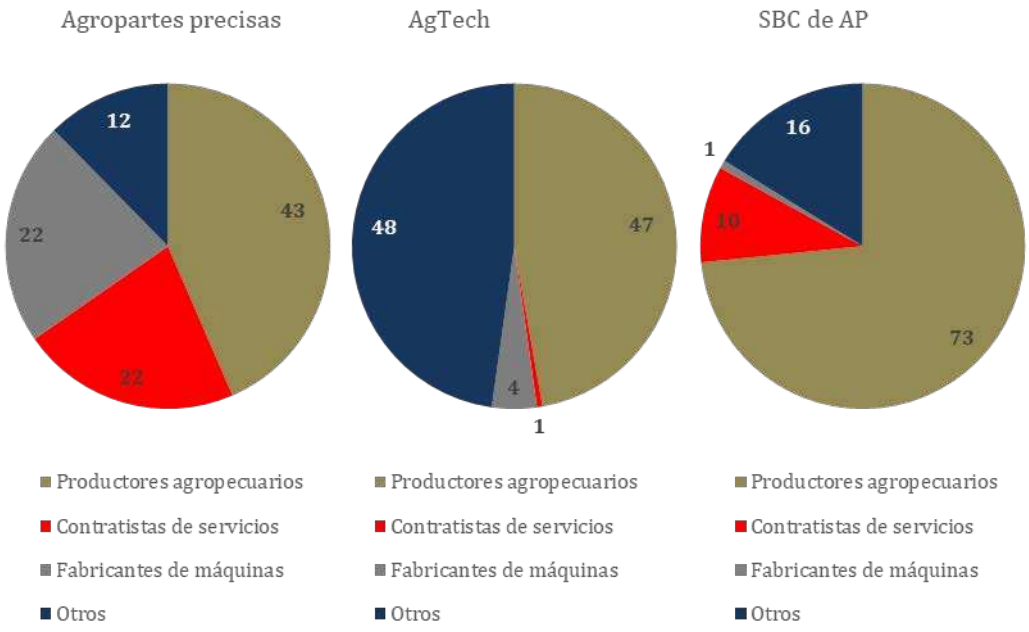



Nota: Se incluye todo tipo de personal (efectivo, temporario y otros.) así como también dueños o socios de la empresa (aunque trabajen en ella de forma parcial).
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, los tres grupos mencionados se diferencian entre sí por la composición de la cartera de clientes. En el caso de las ventas de las firmas de SBC de AP, los productores agropecuarios representan tres cuartos del total; en el grupo de empresas de agropartes de precisión, productores agropecuarios y contratistas de servicios explican dos tercios de los ingresos, mientras que el tercer grupo de empresas realiza casi todas sus ventas a productores y otros actores del sector (Gráfico 3).

Gráfico 3. Participación de clientes en el total de ventas de agricultura de precisión

- En términos porcentuales -



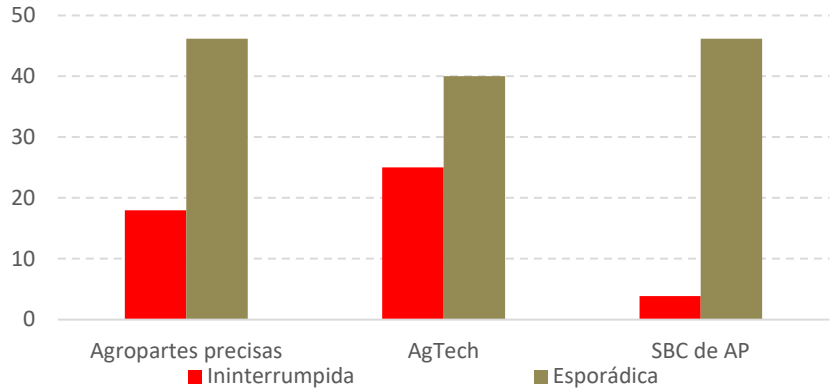

Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 4 muestra el porcentaje de empresas que realizaron exportaciones entre 2014 y 2017. En este caso, para poder identificar distintos tipos de vínculos con el sector externo, se preguntó la frecuencia de las

exportaciones para los cuatro años de interés. De este modo, se distingue entre aquellas que han exportado de forma ininterrumpida frente aquellas que lo hicieron de modo esporádico.

Gráfico 4. Empresas que realizaron ventas externas relacionadas a la agricultura de precisión entre los años 2014 y 2017

- En términos porcentuales -




Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la posibilidad de exportación de los tres grupos de empresas fue amplia, en particular si se tiene en cuenta lo que ocurre en términos generales en la economía argentina. En los tres casos, entre el 40 y 45% de las empresas pudieron registrar algún tipo de exportación. Por otro lado, si bien las empresas de agropartes de precisión pudieron ser más estables en sus exportaciones –siendo mayor el número de aquellas que lo pudo hacer de forma ininterrumpida-, los servicios, tanto aquellos de AP como los de AgTech, tuvieron una particular facilidad en su inserción externa si se tiene en cuenta la respectiva corta edad de estas firmas.

## 2.2 LOGROS, RUTINAS Y PERSONAL EMPLEADO PARA TAREAS DE INNOVACIÓN[4]

### 2.2.1 LOGROS, PROTECCIÓN DE LAS INNOVACIONES Y FUENTES DE FINANCIAMIENTO

A las empresas participantes de la encuesta se les consultó por sus logros en innovación, las rutinas que llevan a cabo para pensar o desarrollar las mismas, así como también sobre las características del personal empleado para estas tareas.

En promedio, el 65% de las empresas de agropartes de precisión están actualmente comercializando al menos un producto resultado de sus esfuerzos en innovación. Por otro lado, el 35% restante comercializa únicamente productos desarrollados por otras empresas, por lo general, en el exterior.

A su vez, la totalidad de las empresas de servicios basados en plataformas TIC tuvieron algún tipo de logro en materia de innovación. Sin embargo, el 30% de las empresas de SBC de AP así como también el 25% de las empresas de AgTech mencionaron que sus innovaciones todavía no se encuentran en fase comercial.

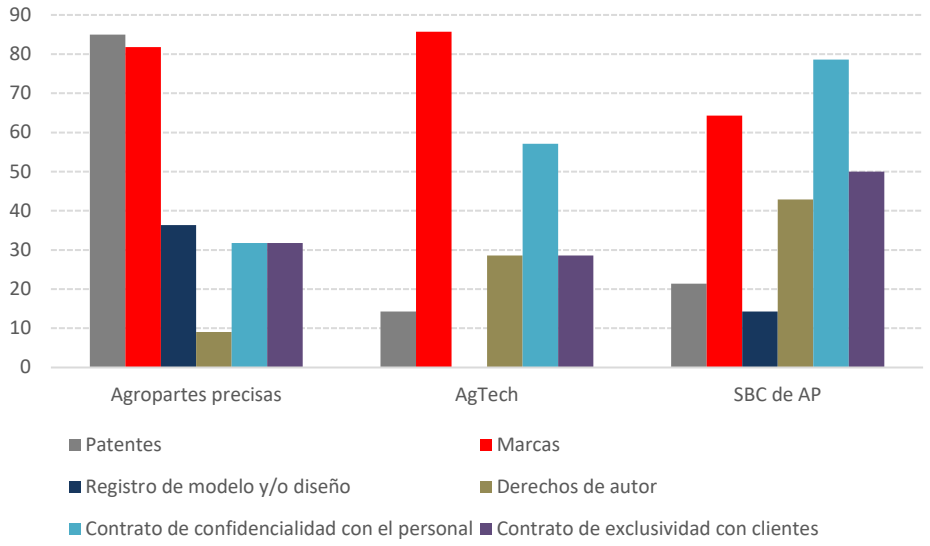
Por otro lado, alrededor del 80% de todas las empresas mencionaron haber recurrido a algún tipo de mecanismo formal para proteger las innovaciones –ya sea en el ámbito local como internacional-. A la vez,

[4] En la encuesta se definió innovación como la introducción al mercado de un producto (bien o servicio) nuevo o significativamente mejorado, de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores. Estas innovaciones pudieron haber sido realizadas al interior de la empresa, pero también en colaboración con terceros o directamente realizadas en su totalidad por otra empresa. No se incluye en esta definición la compra de productos y/o servicios que sean solo comercializados por la empresa.

prácticamente todas emplearon métodos informales de protección de las innovaciones. Los Gráficos 5a y 5b resumen –en términos porcentuales- las distintas herramientas empleadas por cada uno de los grupos.

Gráfico 5a. Elección de mecanismos formales de protección de las innovaciones

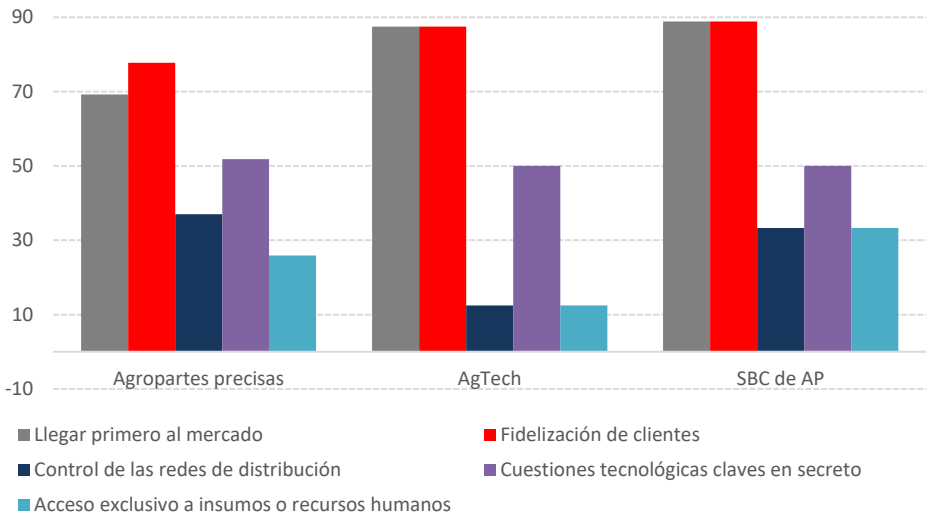
- En términos porcentuales -




Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5b. Elección de mecanismos informales de protección de las innovaciones

- En términos porcentuales -




Fuente: Elaboración propia.

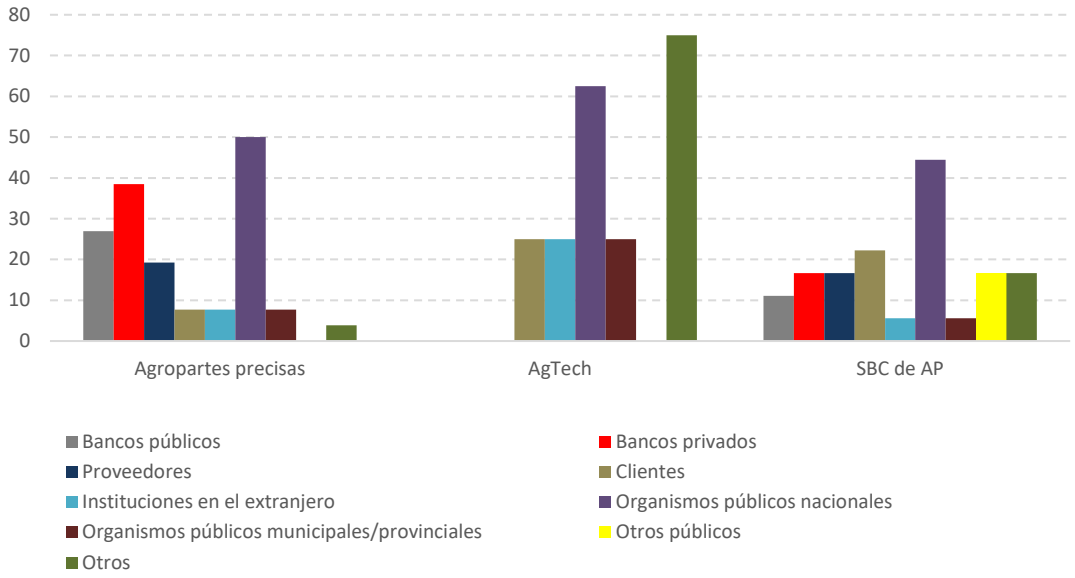
Asimismo, la encuesta también abarcó las fuentes de financiamiento de los esfuerzos para el desarrollo de esas innovaciones. En primer lugar, resultó significativamente elevado el porcentaje de empresas de agropartes de precisión que financiaron sus innovaciones con fondos propios. De todas formas, en las empresas de servicios esta alternativa fue mucho menor debido en parte a lo reciente de estas empresas y a lo relativamente acotado de sus ingresos. A su vez, se destaca la preponderancia en los tres grupos del rol desempeñado por el financiamiento percibido por organismos públicos nacionales -como FONTAR, FORNASEC, FONSOFT y ANR-. Sin embargo, también fueron habituales ciertos comentarios adversos sobre

estos programas, en particular debido a retrasos en el cronograma de pago. También, para las empresas que prestan servicios, se destaca como una fuente muy relevante de financiamiento el percibido de "aceleradoras de emprendimientos", donde en casos recientes hubo también beneficios percibidos de la "Ley de Emprendedores" (Ley N° 27.349).

Por otro lado, el financiamiento de innovaciones a partir de bancos públicos y privados estuvo restringido centralmente al segmento de empresas de agropartes de precisión. El escaso tamaño del sector financiero local y las dificultades para acceder a esta fuente tradicional de financiamiento provoca que este sea marginal y de acceso limitado solo para ciertas firmas.

Gráfico 6. Fuentes de financiamiento para las innovaciones

- En términos porcentuales -




Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2 RUTINAS EN INNOVACIÓN

En relación a las rutinarias desarrolladas al interior de las empresas, se destaca que la totalidad de las firmas de servicios llevaron a cabo algún tipo de estas actividades, mientras que en las firmas de agropartes de precisión el porcentaje superó al 70% de las mismas. De este modo, la capacitación de recursos humanos, la adquisición de máquinas y equipos, así como también de hardware y/o software fue una actividad importante en los tres grupos de empresas. Al mismo tiempo, la realización de trabajos sistemáticos dentro de la empresa para el "desarrollo de conocimiento técnico y/o científico" fue la actividad más practicada por las firmas de servicios, mientras que fue menos relevante en grupo de agropartes de precisión.

En relación a las fuentes de información consultadas para el desarrollo de innovaciones se destacaron en los tres grupos el contacto con proveedores y clientes, así como también el uso de internet u otras redes de comunicación. Del mismo modo, el empleo de información generada internamente en la empresa también fue una fuente habitual en los tres casos.

Por otro lado, mientras que la participación en ferias y conferencias fue una fuente de información relevante para las firmas de agropartes de precisión, fue de menor importancia para aquellas dedicadas a los rubros de servicios. En cambio, la alta orientación científica de estas últimas derivó en que la lectura de *papers* académicos y la asistencia a congresos también fuera una opción preponderante. Por último, también fue

mencionado por las firmas de servicios la participación en foros y espacios para el desarrollo de software de código abierto.

Dado que los procesos de innovación no necesariamente son llevados a cabo de forma aislada de los otros actores con los cuales las empresas se relacionan, en la encuesta se preguntó acerca de los vínculos establecidos con terceros. A su vez, estas vinculaciones podían estar dirigidas para pensar y/o desarrollar innovaciones en tres planos distintos: producto, procesos o métodos de comercialización.

En primer lugar, se destaca que el INTA ocupó un rol notable principalmente en el desarrollo de productos –a partir de tareas de validación a campo- así como también para el desarrollo de nuevos procesos de producción. Si bien esto fue mencionado principalmente por las firmas de agropartes de precisión y de SBC de AP, fue mayor la incidencia en el primer segmento.

Por su parte, las relaciones con cámaras empresariales del agro –como AAPRESID y AACREA- tuvieron como principal objetivo el fortalecimiento del segmento comercial principalmente en las firmas de servicios. Para las empresas de agropartes de precisión, los vínculos con proveedores y con clientes resultaron ser muy relevantes, en particular, para las innovaciones en productos y en procesos. Asimismo, las empresas de servicios generaron lazos con clientes, así como también con otras empresas del sector en vistas de buscar soluciones tecnológicas y generar nuevos canales de ventas.

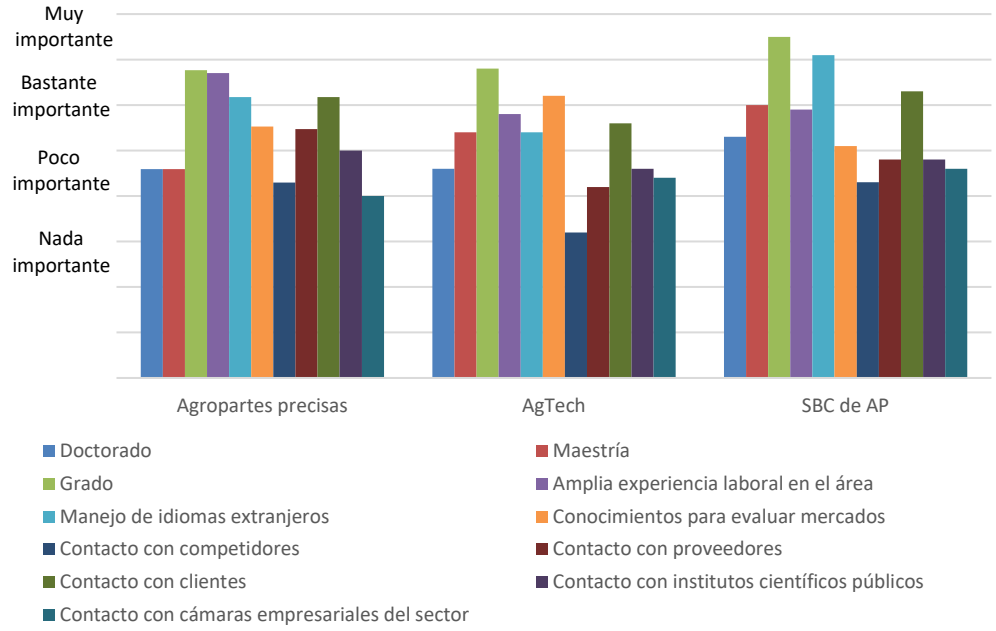
### 2.2.3 RECURSOS HUMANOS EMPLEADOS PARA LA INNOVACIÓN

Por último, dentro de la sección de innovación se consultó sobre la cantidad y las características del personal empleado en las tareas de innovación. De este modo, se destaca que las firmas de agropartes de precisión emplearon en promedio 6 personas con dedicación exclusiva, mientras que los dos segmentos de firmas de servicios destinaron en promedio a 3 personas. Sin embargo, si se consideran estos números en términos relativos al personal total empleado por las mismas, las empresas de servicios resultaron ser significativamente más intensivas en términos del personal abocado a tareas de innovación. A su vez, en los tres grupos de firmas se destinaron entre 2 y 3 empleados de forma esporádica a las tareas de innovación.

En cuanto a las características deseadas de los recursos humanos que se dedican a pensar y desarrollar innovaciones se preguntó[5] acerca de características generales y del dominio de diversos campos de conocimiento. El Gráfico 7 muestra los resultados obtenidos en relación a las características generales de los RRHH, mientras que el Gráfico 8 indica lo correspondiente a los diversos campos de conocimiento.

[5] En estas preguntas, los encuestados debían calificar las diversas categorías incluidas entre “nada importante”, “poco importante”, “bastante importante” y “muy importante”.

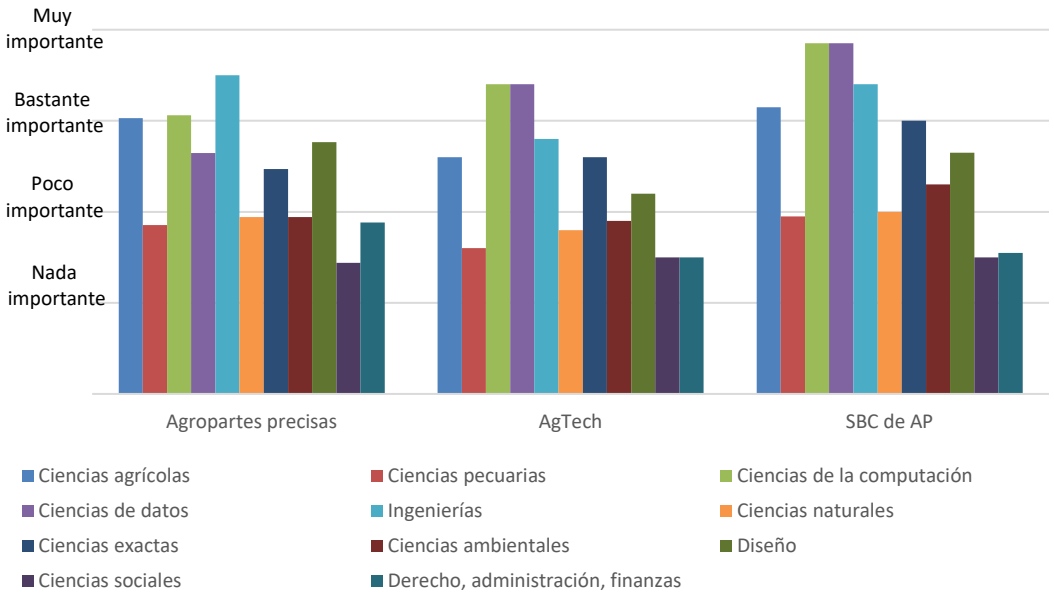
Gráfico 7. Valoración de características de los RRHH en innovaciones




Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se destaca para en los tres segmentos de empresas el rol preponderante de la formación universitaria en el personal que va a estar dedicado a pensar y/o desarrollar innovaciones. Por otro lado, habilidades "blandas", como el manejo de idiomas extranjeros, conocimientos para evaluar mercados, contactos con clientes también tuvieron una singular relevancia. Por último, mientras que la experiencia laboral previa fue un rasgo de primer nivel en las empresas de agropartes de precisión, fue menos importante en las firmas de servicios.

Gráfico 8. Valoración de los campos de conocimiento en los RRHH para la innovación




Fuente: Elaboración propia.

En relación a la valoración de los campos de conocimiento de los RRHH para la innovación, las áreas de ingeniaría fueron las más valorados en las empresas de agropartes de precisión, seguido por las ciencias de

la computación y las ciencias agrícolas. Por otro lado, en las empresas que brindan servicios la ciencia de datos y las ciencias de la computación resultaron ser las más valoradas.

### 2.3 OBSTÁCULOS AL CRECIMIENTO

Finalmente, las empresas consultadas evaluaron una serie de obstáculos al crecimiento de su empresa. Las preguntas se dividieron entre obstáculos identificados por el lado de los usuarios de sus productos, así como también por obstáculos generales derivados de la coyuntura y el marco regulatorio nacional.

En relación a los obstáculos que perciben las empresas en cuanto a los rasgos de los usuarios de sus productos los segmentos más mencionados fueron: i) la falta de conocimiento tecnológico en productores y operarios; ii) la desconfianza hacia las nuevas tecnologías y, iii) la no comprensión de los beneficios de la agricultura de precisión. A su vez, en menor medida se destacó que la falta de conocimiento sobre los productos disponibles en el mercado y las limitaciones al financiamiento en usuarios también generaron restricciones al crecimiento.

En cuanto a las dificultades generales para el crecimiento del negocio, la carga tributaria se presenta como el principal factor de importancia para las empresas, seguido por la falta de recursos financieros a bajo costo, la coyuntura macroeconómica adversa y los altos costos laborales. En menor medida fueron mencionados otros aspectos tales como la ausencia de infraestructura y servicios públicos para la correcta implementación de la agricultura de precisión, obstáculos regulatorios y la falta de trabajadores con la calificación deseada.

## 3. CONCLUSIONES

En términos generales se destaca el crecimiento y consolidación de este rubro de firmas que desarrollan productos y/o servicios para la agricultura y ganadería de precisión. Los tres segmentos de empresas señalados mostraron diferencias en términos del origen, la edad de las firmas, la trayectoria tecnológica, así como también en términos del tamaño –medido tanto por nivel de facturación como por empleo-.

A su vez, resultó ser notable las posibilidades mostradas por las empresas de los tres segmentos en términos de las exportaciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos estas fueron esporádicas y representaron porcentajes relativamente bajos de los ingresos totales.

Por otro lado, se destaca el claro perfil innovador que, en términos generales, tienen las empresas de este sector. Si bien hay diferencias notables en las fuentes de financiamiento utilizadas para estas actividades, las empresas pudieron mostrar logros en innovación –aunque seguramente por debajo de las máximas posibilidades-.

En relación a las rutinarias llevadas a cabo en innovación, hubo espacios comunes y también divergencias entre los distintos segmentos de empresas. En particular se destaca un mayor perfil orientado al desarrollo de conocimientos técnicos y científicos por parte de las empresas de servicios. A su vez, las vinculaciones con terceros fue un rasgo común en la mayoría de las empresas. Estas relaciones para la innovación estuvieron dirigidas tanto al desarrollo de productos, como de procesos y de métodos de comercialización.

Por último, la alta incidencia de los dos grupos de obstáculos consultados en el crecimiento de las empresas da cuenta que hay diversos espacios donde la intervención de políticas públicas es requerida. En estos términos, además de políticas puntuales dirigidas a mejorar las condiciones generales de mercado, también podrían llevarse a cabo diversas campañas orientadas a favorecer la adopción y uso de estas tecnologías por parte de los productores agrícolas y ganaderos.

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

CASE IH AGRICULTURE

AFS ADVANCED FARMING SYSTEMS

INTA Secretaría de Agroindustria

Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# LA APLICACIÓN DE AGROTECNOLOGÍA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN EL CONO SUR

**Rodrigo Ortega Blu**
Departamento de Ingeniería Comercial
Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago (Chile)
rodrigo.ortega@usm.cl

## INTRODUCCIÓN

La agricultura constituye la base del desarrollo económico de muchos países de la región, observándose diferencias en el tipo de agricultura predominante (extensiva o intensiva) entre ellos. La agrotecnología ha permitido avanzar sostenidamente en términos de productividad, sin embargo, existe aún una deuda importante en términos de eficiencia y sostenibilidad ambiental, aspectos claves para la seguridad alimentaria. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), desde la Cumbre Mundial de la Alimentación (CMA) de 1996, la Seguridad Alimentaria a nivel de individuo, hogar, nación y global, se consigue cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, inocuo y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana. La definición de seguridad alimentaria incluye las siguientes dimensiones:

Disponibilidad de alimentos: La existencia de cantidades suficientes de alimentos de calidad adecuada, suministrados a través de la producción del país o de importaciones.

Acceso y control: Sobre los medios de producción (tierra, agua, insumos, tecnología, conocimiento, etc.) y a los alimentos disponibles en el mercado. La falta de acceso y control es frecuentemente la causa de la inseguridad alimentaria, y puede tener un origen físico o económico. Los derechos de acceso de una persona pueden deberse a acuerdos jurídicos, políticos, económicos y sociales de la comunidad en que vive (comprendidos los derechos tradicionales, como el acceso a los recursos colectivos).

Utilización: Utilización biológica de los alimentos a través de una alimentación adecuada, con alimentos inocuos, agua potable, sanidad y atención médica, para lograr un estado de bienestar nutricional en el que se satisfagan todas las necesidades fisiológicas. Este concepto pone de relieve la importancia de los insumos no alimentarios en la seguridad alimentaria.

Estabilidad: Una población, un hogar o una persona deben tener acceso a alimentos adecuados en todo momento. No deben correr el riesgo de quedarse sin acceso a los alimentos a consecuencia de crisis repentinas (por ejemplo, una crisis económica o climática) ni de acontecimientos cíclicos (como la inseguridad alimentaria estacional). De esta manera, el concepto de estabilidad se refiere tanto a la dimensión de la disponibilidad como a la del acceso de la seguridad alimentaria.

La Agrotecnología tiene un rol clave para la seguridad alimentaria en el Cono Sur y debe usarse tanto a nivel gubernamental como a nivel de finca. En el primer caso, para fines de planificación, monitoreo y control, para asegurar un uso sustentable de los recursos naturales, particularmente bajo la presión actual por incorporar áreas de cultivos de menor aptitud y las condiciones de cambio climático, aportando significativamente a las dimensiones de disponibilidad, acceso y control y estabilidad de la seguridad alimentaria. La Agricultura de Precisión, que podría considerarse una rama de la Agrotecnología, se ha venido desarrollando a diferentes ritmos en los últimos 20 años en el Cono Sur de América y es clave para alcanzar una mayor eficiencia productiva, contribuyendo a la sustentabilidad ambiental y a las dimensiones de disponibilidad, utilización y estabilidad de la seguridad alimentaria.

En el presente trabajo se presentan algunas ideas acerca de cómo la agrotecnología contribuye a la seguridad alimentaria en el Cono Sur de América.

**SEGURIDAD ALIMENTARIA EN PAÍSES DEL CONO SUR**

Un reciente informe titulado "El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017" (FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2017) señala que, a nivel mundial, luego de un sostenido descenso, la subnutrición aumentó de 777 millones en 2015 a 815 millones el 2016. Gran parte de este aumento se atribuye a los conflictos presentes en varias partes del mundo y a perturbaciones climáticas.

En el caso de América del Sur, la prevalencia de la subnutrición mostró un descenso permanente hasta el año 2013, observándose luego un aumento hasta un 5,6% el año 2016, más que duplicando las cifras de los países desarrollados (Figura 1). Por otra parte, en los países de la región con ingresos considerados medianos a altos, se observó una relación significativa entre inseguridad alimentaria y obesidad en adultos. Los factores impulsores de estas tendencias de la inseguridad alimentaria y la malnutrición difieren de un país a otro e incluso dentro de los países. Según el informe de FAO y colaboradores (2017), Los sistemas alimentarios y las dietas están cambiando. Puesto que las grandes empresas dominan cada vez más los mercados, los alimentos procesados son más fáciles de conseguir, en detrimento de los alimentos y hábitos dietéticos tradicionales. Los fenómenos relacionados con el clima, vinculados en parte con el cambio climático han afectado a la disponibilidad de alimentos en muchos países y han contribuido al aumento de la inseguridad alimentaria. La desaceleración económica de los países que dependen fuertemente de los ingresos de la exportación de petróleo y de otros productos básicos también tiene repercusiones en la disponibilidad de alimentos o la disminución de la capacidad de las personas para acceder a los mismos.

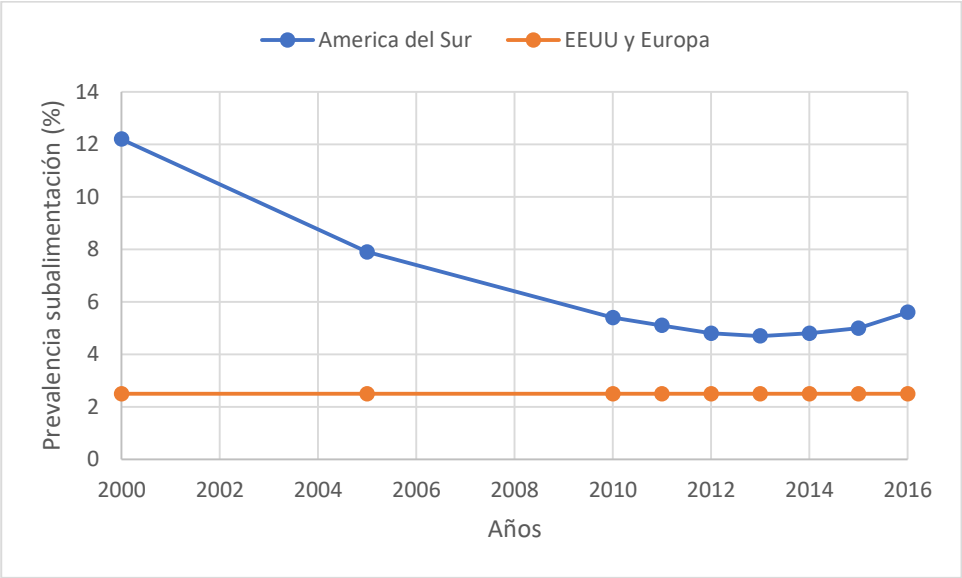



*Figura 1. Prevalencia de la subalimentación en América del sur entre los años 2000 y 2016 (Fuente: FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2017).*

**ROL DE LA AGROTECNOLOGÍA EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA**

A nivel del Estado

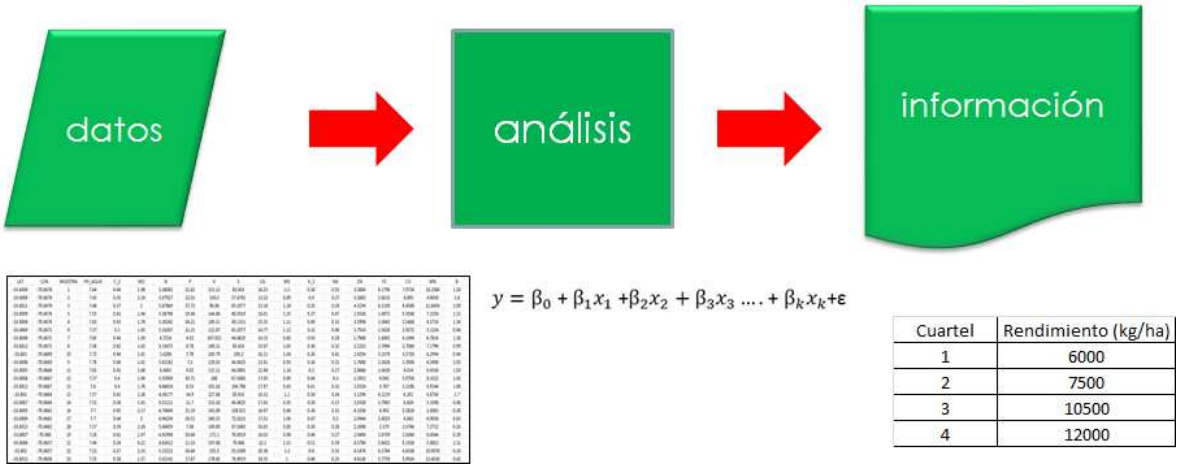
Bajo el concepto de economía de mercado, presente en la mayoría de los países de la región, la propiedad privada es un derecho esencial que choca permanentemente con los intereses colectivos. En rigor el propietario del suelo puede hacer con él lo que le parezca, sin importar los impactos que pueda tener sobre la biodiversidad o el medio ambiente, en particular frente a un Estado débil en términos de control y aplicación de la ley. En el caso de Chile, no solo el suelo es privado, sino que también lo es el agua, lo que dificulta aún más su preservación.

La agrotecnología, a través de la información que genera, tiene un rol esencial a nivel de planificación, monitoreo y control, contribuyendo a un uso sustentable de los recursos naturales, aportando significativamente a las dimensiones de disponibilidad, acceso y control y estabilidad de la seguridad

alimentaria. Tecnologías como imágenes aéreas, satelitales y aquellas provenientes de drones, estaciones climáticas, sistemas de monitoreo automático de aguas subterránea y superficiales, junto a los sistemas de información geográfica facilitan el trabajo de los agentes del Estado y permiten tomar mejores decisiones.
Como ejemplo concreto, recientemente en Chile, en la localidad de Petorca, se desató un grave conflicto social y ambiental, con repercusión internacional, por el otorgamiento de derechos de agua excesivos a algunas empresas productoras de palta, lo que ha causado un déficit hídrico en la zona, afectando no solo la producción agropecuaria, sino la disponibilidad de agua para consumo humano. Estos efectos han sido exacerbados por el cambio climático. Si el Estado Chileno hubiera tenido mejor información disponible, seguramente pudo haber hecho un mejor trabajo.

A nivel de finca

A nivel de finca, la agrotecnología y en particular la Agricultura de Precisión (AP) por sí sola no es la solución a los problemas de sustentabilidad y seguridad alimentaria. Esta debe incorporarse necesariamente a través de un manejo integrado. Esencialmente las tecnologías de AP contribuyen a generar información para la toma de decisiones apropiadas y a la aplicación precisa de las prescripciones definidas en base a dicha información.




| Cuartel | Rendimiento (kg/ha) |
|---|---|
| 1 | 6000 |
| 2 | 7500 |
| 3 | 10500 |
| 4 | 12000 |

*Figura 2. Proceso de conversión de datos a información para la toma de decisiones.*

Para resaltar la importancia de la información, en un estudio realizado en hortalizas de hoja en la Región Metropolitana de Chile, se determinó que, a partir de un balance de N, solo un 20 % de los lotes evaluados debía ser fertilizado con nitrógeno, mientras que una alta proporción de ellos presentaba excesos de N (Figura 3), los que contribuían directamente a los altos niveles de nitrato (N-$NO_3$) en los tejidos, causando potenciales problemas de inocuidad, afectando la seguridad alimentaria.

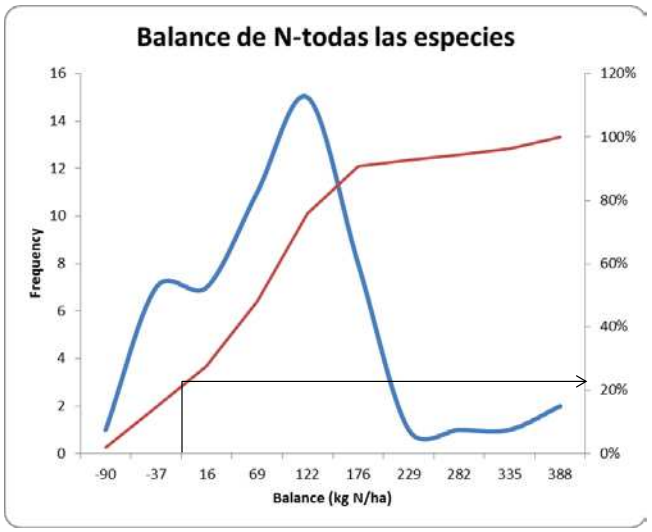



*Figura 3. Balance de N para hortalizas de hojas en la región Metropolitana (Ortega y colaboradores, 2013).*

La AP puede contribuir notablemente, dentro de un contexto de Manejo Integrado, al desarrollo sostenible y a partir de ello a la Seguridad Alimentaria. El Desarrollo Sostenible se ha definido como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. En términos ambientales, significa utilizar los recursos naturales y devolverlos en igual o mejores condiciones en las que se recibieron. En América del Sur, a pesar de que ha incrementado la productividad, estamos en deuda en términos de eficiencia y por lo tanto de impacto ambiental, observándose en la actualidad, erosión de suelos, y contaminación de las aguas por N y P, entre otros. En un balance de energía realizado el 2010 en maíz, se determinó que, si bien se había producido un incremento en términos de producción de Energía Neta en relación a un estudio de 1994, la relación de Energía Neta, estimada como $\frac{Salidas}{Entradas}$ se redujo prácticamente a la mitad, es decir, la eficiencia energética decreció significativamente (Figura 4).

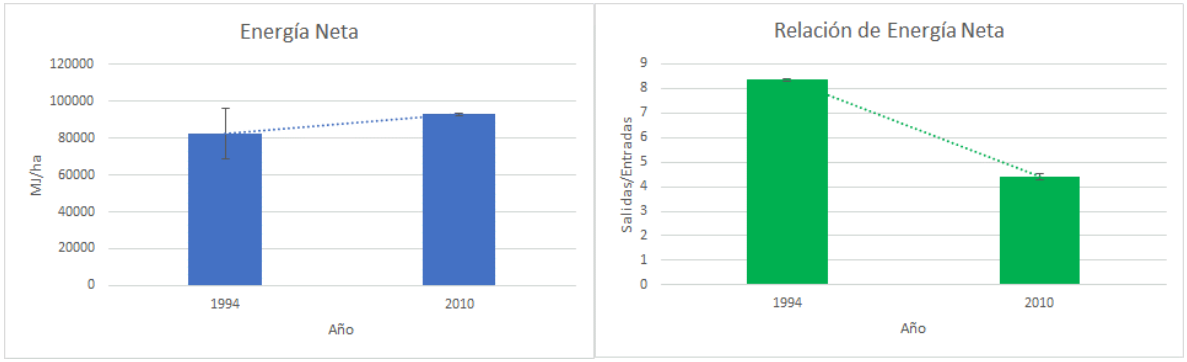



*Figura 4. Balance de energía en sistemas de producción de maíz convencional en Chile (adaptado de Ortega y col., 2010).*

Como se mencionó anteriormente, para que la Agrotecnología produzca sus mayores impactos debe utilizarse dentro de un concepto de Manejo Integrado. En Chile, desde hace unos 10 años, particularmente en fruticultura, se ha venido desarrollando el concepto de Manejo Integrado de la Nutrición (MIN) que apunta al mejoramiento integral de la calidad del suelo e integra el uso de herramientas de diagnóstico, dosis de nutrientes ajustadas, fertilizantes de alta eficiencia (con inhibidores de nitrificación), materia orgánica y microorganismos PGPRs, y Manejo Sitio-Específico (Ortega, 2015) (Figura 6). Más recientemente se ha desarrollado el concepto de Microbiología de Precisión (Gutiérrez y Ortega, 2016; Martínez y Ortega, 2018), que reconoce las interacciones entre el microbioma, el suelo y el cultivo, y propone que su manejo debe ser sitio específico.

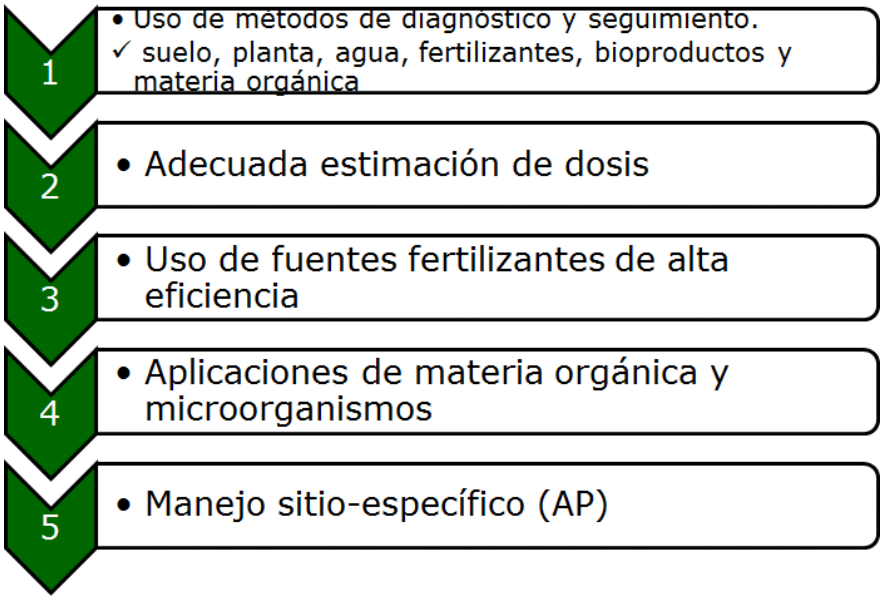



*Figura 5. Elementos del Manejo Integrado de la Nutrición (MIN) (Ortega, 2015).*

Un componente esencial del MIN es la materia orgánica, la cual debe mantenerse o incrementarse en el suelo, para que el microbioma funcione. El manejo de los residuos (sin quema) y el reciclaje de nutrientes y materia orgánica es una práctica obligatoria.

Los resultados de MIN han sido muy satisfactorios: se han reducido sistemáticamente las dosis de nutrientes aplicadas, en particular N, se ha tendido al equilibrio en los niveles de nutrientes del suelo, incrementando su actividad biológica del suelo, medida como actividad enzimática. A nivel productivo, se han incrementado los rendimientos y calidad de fruto, a partir de un mayor desarrollo de raíces (Figura 6).

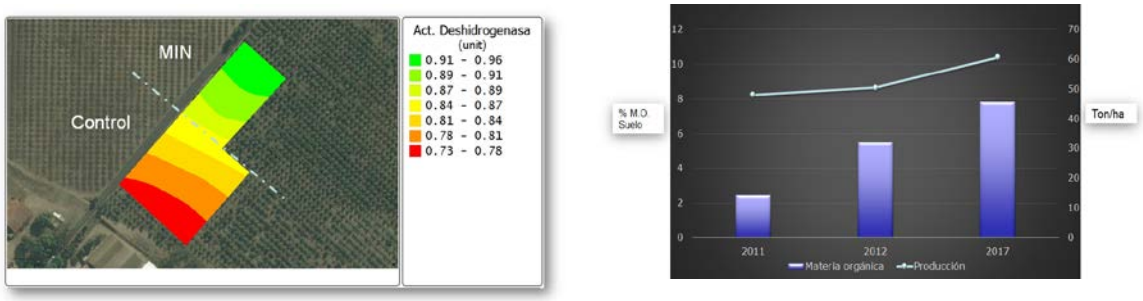



*Figura 6. Efectos del MIN sobre la actividad enzimática y el incremento en rendimiento en peral en un período de 5 años (Poblete y col., 2018).*

A nivel de eficiencia productiva, el MIN aumenta significativamente la eficiencia de uso de nutrientes, disminuyendo por lo tanto su impacto ambiental (Figura 7).

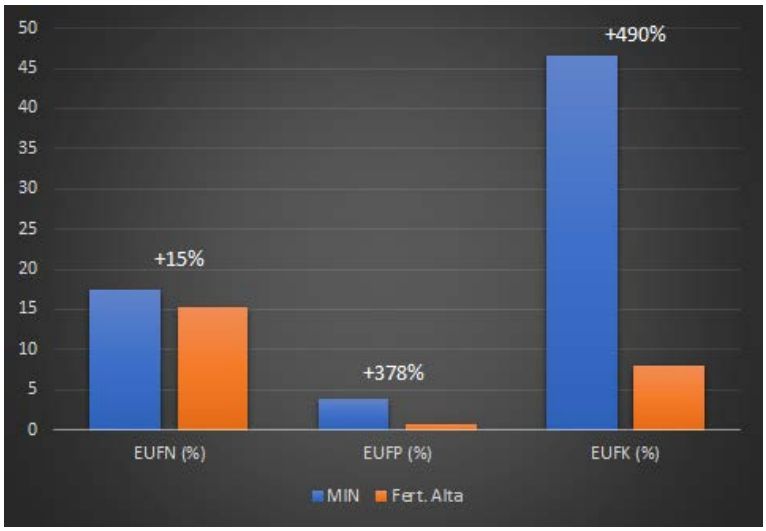



*Figura 7. Incremento de la Eficiencia de utilización de los nutrientes respecto a un tratamiento fertilizado promedio (Ortega y Fernández, 2017).*

Por otra parte, según FAO, MINAGRI y USM (2015), en zonas de secano el Manejo Sitio específico puede contribuir significativamente a la adaptación frente a los impactos del cambio climático, tales como la disminución del agua disponible, el aumento de la temperatura y la erosión de suelos (Tabla 1).

*Tabla 1. Contribución del manejo sitio-específico a la adaptación frente al cambio climático*

| Impacto del cambio climático | | |
|---|---|---|
| **Disminución del agua disponible** | Aumento de la temperatura | Aumento de la erosión |
| - **Aumenta la eficiencia en el uso de agua.** | - Elimina factores limitantes estimulando un mejor crecimiento de los cultivos lo que los protege del aumento en las temperaturas. | - Mejora sectores de menor calidad de suelo a través del uso sitio-específico de enmiendas.<br>- Mejora la agregación del suelo. |

Junto con la contribución a las dimensiones de disponibilidad y estabilidad de la seguridad alimentaria, las prácticas de Agricultura de Precisión pueden contribuir significativamente a la dimensión de utilización, a través de la producción de alimentos más nutritivos (con mayores contenidos de vitaminas y minerales) e inocuos, es decir libres de residuos químicos y contaminación biológica. Prácticas como la aplicación variable de agroquímicos tanto al suelo como a nivel foliar, debieran ser obligatorias para alcanzar estos objetivos. Junto a mejores aplicaciones, la agricultura de Precisión permite la trazabilidad de las aplicaciones, contribuyendo significativamente a los aspectos de inocuidad de los alimentos.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- La agrotecnología contribuye significativamente a todas las dimensiones de la Seguridad Alimentaria, tanto a nivel del Estado como a nivel de Productores, por lo que su utilización masiva es muy recomendable.
- La Agrotecnología debe ser usada dentro de un contexto de Manejo Integrado, donde se combinan tecnologías y prácticas que apuntan al mejoramiento integral del suelo, para tener mejores cultivos, mejor adaptados a los efectos del cambio climático.
- La mayor contribución de la Agrotecnología es el proveer de datos oportunos, los cuales deben ser procesados adecuadamente y transformados en información para la toma de decisiones

adecuadas. Esto es particularmente relevante frente la pérdida de patrones climáticos producto del cambio climático.

- Se debe incrementar la masa crítica de actores preparados para desarrollar y utilizar las agrotecnologías disponibles a nivel mundial. Es imperativo que las Universidades, Institutos Profesionales y Liceos agrícolas incluyan cursos de AP en sus mallas.
- Los Estados debieran promover, a partir de políticas públicas apropiadas, el fortalecimiento de la I+D, el emprendimiento, la extensión y la adopción de agrotecnologías, para una producción sustentable, adaptada al cambio climático y que contribuya decididamente a la seguridad alimentaria de los países de la región.

**REFERENCIAS**


FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2017. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria. Roma, FAO.

Martínez, M.M. y Ortega, R. 2018. Agricultura con Microscopio: Microbiología de Precisión. Hacia el manejo sitio-específico de microorganismos. Revista MundoAgro 102. Mayo, 2018.

Gutiérrez, V. and Ortega, R. 2016. Towards Precision Microbiology. 13th International Conference on Precision Agriculture. Sait Louis, MO, July, 31th-August 2.

FAO, MINAGRI y USM. 2015. Manejo Sitio-específico para un manejo sustentable de cultivos y praderas. Efectos sobre la adaptación al cambio climático. FAO, Oficina Regional, Santiago (Chile).

Ortega, R. 2015. Integrated nutrient management in conventional intensive horticulture production systems. Acta Hort. (ISHS) 1076:159-164.

Ortega, R., García A. y Martínez MM. 2013. En la justa medida. Pautas para manejar el nivel de nitrógeno en la producción de hortalizas de hoja de calidad, sin perder atributos nutricionales ni provocar excesos. Revista MundoAgro 46:56-59.

Ortega, R., R. Muñoz, L. Acosta, R. González. 2010. Biocombustibles en Chile. I. Identificación y Balance Energético de la Producción de Materias Primas y de Biocombustibles. Agrociencia 44: 611-622.

Ortega, R. and Fernández, M. 2007. Agronomic evaluation of liquid humus derived from earthworm humic substances. Journal of Plant Nutrition 30: 2091–2104.

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos


Cestari®

MÁS DE 90 AÑOS

REPUBLICA ARGENTINA

INDUSTRIAS METALURGICAS CESTARI


INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# DESARROLLO DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL-DEMOSTRATIVO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN

**Ricardo Melchiori[1], Alejandra Kemerer[1,2], Susana Albarenque[1], Dante Bedendo[1], Claudio Pioto[1], Santiago Hill[2], Cristina Maydana[3], Silvina Butarelli[3] Nelson Faccendini[4], Jose Luis Braco[4]**

[1]Estación Experimental Agropecuaria Paraná del INTA, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

[2]Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro verde, Entre Ríos Argentina

[3]Agencia de Extension Rural Nogoya, Nogoya, Entre Ríos, Argentina

[4]Aserores Tecnicos Est. Los Tilos, Nogoya, Entre Ríos, Argentina

## INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión (AP) comenzó a desarrollarse Argentina, casi en simultáneo con el desarrollo que se ha observado a nivel mundial. El INTA comenzó a difundir y evaluar técnicas de AP desde fines de los 90 y en 1999 inició el primer Proyecto de Agricultura de Precisión desde la EEA Manfredi. Desde entonces, se ha continuado y expandido la participación a otras Estaciones Experimentales de INTA, las que se han unido como una red de colaboración con empresas, asesores especializados y productores innovadores.

La evolución del mercado de herramientas y servicios ha mostrado una velocidad de crecimiento importante, siendo quizás la mayor a nivel de Latinoamérica. Reportes generados recientemente, muestran como algunos componentes tecnológicos asociados a la automatización de las máquinas tienen un uso muy importante (Scaramuzza et al., 2017). Si bien el mercado evidencia avances en equipamientos de AP, el proceso de adopción integral de las técnicas de AP ha sido más lento o con adopción menor, tal como lo demuestran estudios realizados en países con agricultura extensiva como la nuestra, entre ellos USA (Swintong & Loweberg-Deboer, 2002, Daberkou et al., 2003; Erickson et al., 2013), Brasil (Brito Silva et al., 2011), Alemania (Reichardt et al., 2009; Kutter et al., 2011), y Australia (McBratney et al., 2005 ; Robertson et al., 2012).

La adopción de la AP considerando también el procesamiento de datos y generación de cambios en el manejo de los sistemas productivos, evidencia en relevamientos recientes que en Argentina también existen limitantes y problemas asociados a la adopción (Melchiori et al., 2013; 2018). Entre las limitantes principales, se encuentran la falta de especializacion de los operarios y el alto costo de las herramientas y técnicas. Asi mismo, en el caso de los problemas a los que se enfrentan los usuarios de AP, se reporta que el procesamiento de los datos requiere mucho tiempo y la escases de la informacion agronómica para el manejo variable de los insumos.

Si bien el proyecto de AP de INTA ha tenido como estrategia la difusión y transferencia de la información generada desde hace más de 15 años, persisten limitaciones asociadas a los procesos de adopción. Un aspecto relevante surgido de instancias de evaluación interna fue la de generar Unidades Demostrativas a nivel de establecimientos agrícolas de producción comercial. En consecuencia, se planteó como objetivo desarrollar un módulo demostrativo de AP a nivel de un establecimiento. Para tal fin, se comenzaron actividades que contemplan desde la caracterización de la variabilidad del sitio con distintas fuentes de información al desarrollo y manejo variable de insumos y cultivos acorde a las diferencias de ambiente.

**CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD A ESCALA DEL ESTABLECIMIENTO**

Las actividades que se desarrollarán en el Módulo de Agricultura de Precisión, se iniciaron con el reconocimiento y la caracterización de la variabilidad espacio-temporal de los factores que inciden o determinan la productividad de los cultivos. Así, estas pueden abordarse en dos escalas de resolución: zonas homogéneas y sitio-especifico. Se ha propuesto utilizar distintas fuentes de datos para la caracterización de la variabilidad en suelos, desde muestreos directos y uso de sensores proximales. Por otra parte, se considerarán aspectos relacionados a la variabilidad interanual de la productividad y monitoreos durante la estación de crecimiento utilizando diferentes métodos y herramientas. Las actividades en marcha proponen la inclusión y evaluación de procedimientos para prescribir manejos sitio específicos y por ambientes en cultivos (dosis variable en densidades de siembra y fertilización).

Adicionamente, se prevee que durante el proceso de trabajo, se realicen diversos encuentros con profesionales y se generen instancias de capacitación en diferentes técnicas de análisis y procesamiento de datos. Siendo un módulo de experimentación y difusión, otro de los fines es generar, discutir y compartir resultados, recabando nuevos interrogantes o demandas.

**RELEVAMIENTO Y MAPEO DE SUELOS**

Uno de los elementos centrales en la caracterización de la variabilidad ambiental en la región, es el estudio detallado de los suelos. La EEA Paraná del INTA dispone de los recursos y la experiencia para la realización de un relevamiento y cartografía de los suelos de predios con la escala requerida para las aplicaciones en Agricultura de Precision. En este caso, el relevamiento y cartografía de los suelos del establecimiento (Figura 1) se realizó en 3 etapas:

Etapa 1: el análisis en gabinete de la geomorfología/fisiografía del paisaje a través de la interpretación visual de fotografías aéreas a escala 1:20.000, combinadas con imágenes satelitales de alta resolución de la aplicación Google Earth y un modelo digital del terreno (MDT) de 0,5 m de resolución generado por aerofotogrametría (Taguay S.A., 2018), lo cual permitió la identificación detallada de facetas de pendientes asociadas a cambios en la deposición del material parental de los suelos y/o a las distintas fases por erosión hídrica presentes.

Etapa 2: chequeo a campo en 7 puntos específicamente seleccionados del esquema tentativo de la relación suelo-paisaje desarrollado en la etapa 1, mediante la metodología convencional de la observación del perfil de suelo con pala y barreno, a fin de determinar aproximadamente límites y textura de los horizontes, profundidad a la que aparece el calcáreo, espesor del solum, etc.

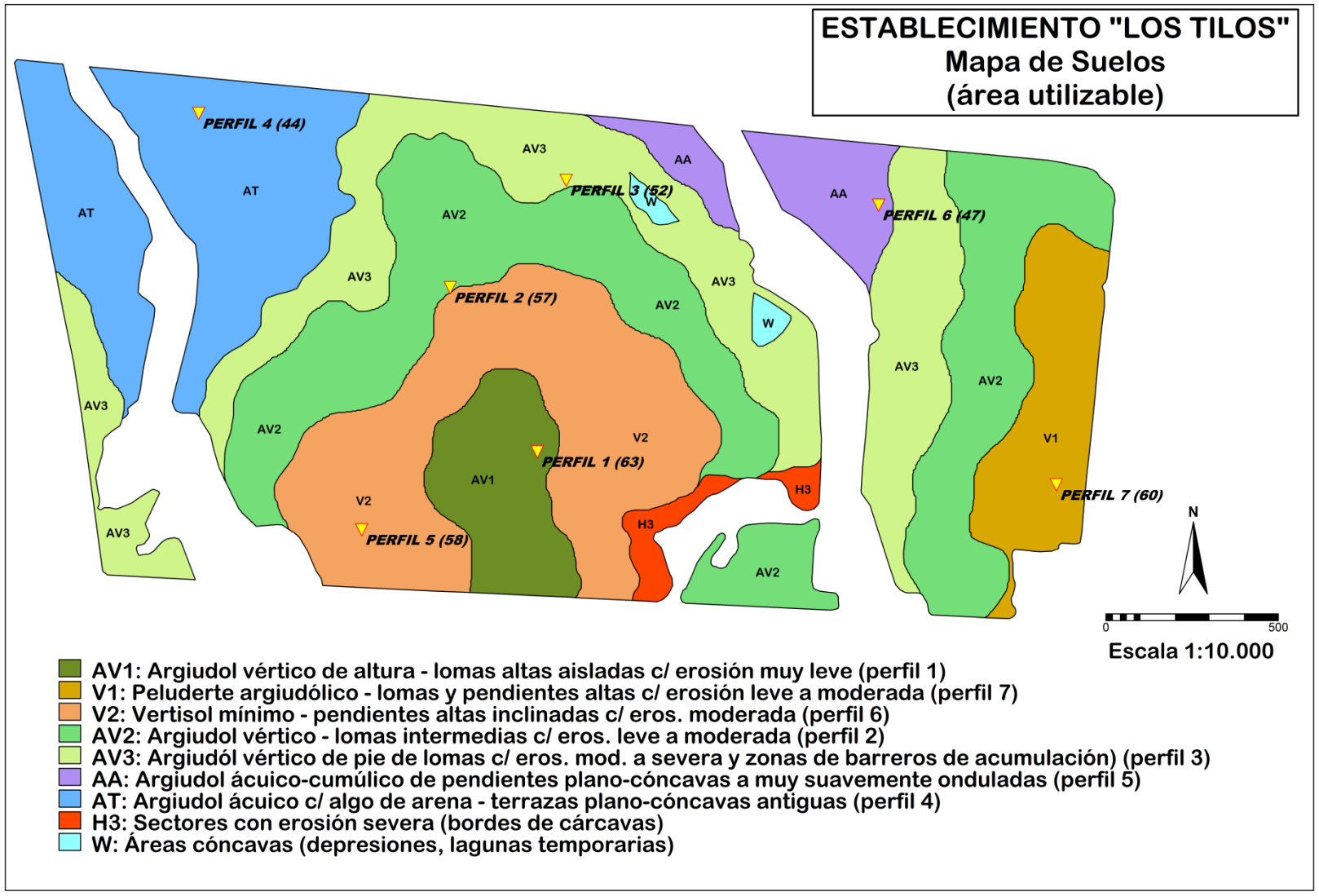
Etapa 3: en proximidad a cada sitio chequeado en la etapa 2, se realizó un nuevo muestreo siguiendo la metodología de muestreadores semi-mecánicos para relevamientos expeditivos de suelos (*Schulz et al., 2010*), mediante la cual se extrajo una columna completa de suelo sin disturbar -en cilindros de 10 cm de diámetro y hasta 1 m de profundidad- utilizando un equipo *Eijkelkamp*. Los cilindros fueron trasladados al laboratorio en donde se describieron con mayor precisión los perfiles (profundidad de horizontes, presencia de caras de fricción o "slickensides", barnices, calcáreo, textura al tacto, estructura, color del horizonte, etc.). Los siete sitios del muestreo columnar están representados en el mapa (Figura 1).

La información obtenida permitió elaborar un mapa de los suelos del establecimiento a escala 1:10.000, cartografiándose el área utilizable desde el punto de vista productivo. La siguiente tabla resume las principales características de las nueve unidades de mapeo definidas.

**Tabla 1.** Principales características de las unidades cartográficas del mapa de suelos

| SÍMBOLO | POSICIÓN FISIOGRÁFICA | CLASIFICACIÓN (TENTATIVA) DEL SUELO A NIVEL DE SUBGRUPO | GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL/DEPOSICIÓN | PERFIL Nº |
|---|---|---|---|---|
| AV1 | Lomas altas aisladas (sector central del predio) | Argiudol vértico ("de altura") | Erosión muy leve | 1 |
| V1 | Lomas y pendientes altas (sector este del predio) | Peluderte argiudólico | Erosión leve a moderada | 7 |
| V2 | Pendientes altas inclinadas (sector central del predio) | Peluderte árgico (vertisol "mínimo") | Erosión moderada | 6 |
| AV2 | Lomas intermedias | Argiudol vértico | Erosión leve a moderada | 2 |
| AV3 | Pie de lomas y zonas de "barreros" de acumulación | Argiudol vértico | Erosión moderada a severa, con deposición de partes más altas | 3 |
| AA | pendientes plano-cóncavas a muy suavemente onduladas | Argiudol ácuico-cumúlico | Sin erosión, leve peligro de deposición | 5 |
| AT | Antiguas terrazas plano-cóncavas | Argiudol ácuico, con algo de arena | Sin erosión, leve peligro de deposición | 4 |
| H3 | Bordes de cárcavas | - | Erosión severa | |
| W | Áreas cóncavas interiores (depresiones, lagunas temporarias) | - | Deposición, anegamiento temporario | |

**Figura 1.-** Mapa de suelos del establecimiento a escala 1:10.000 y ubicación de los puntos de muestreo .



**MUESTREOS DE SUELOS EN GRILLAS**

La fertilidad del suelo es un componente central del manejo, después de definir la secuencia de cultivos, la fecha de siembra y la estructura del cultivo (espaciamiento y densidad). En nuestra región la variabilidad en los suelos es muy importante, en particular en relación al contenido de materia orgánica y de P disponible. Factores como la topografía ondulada, pendientes pronunciadas y diferentes tipos de suelos son elementos que incrementan la variabilidad en nuestros ambientes.

En la presente experiencia se propuso cuantificar la variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo mediante la realización de muestreos intensivos en grilla, relevando la totalidad del establecimiento y poniendo énfasis en primera instancia en el estudio del contenido de fosforo extraíble por el método de Bray y Kurtz n°1, de MO % y el pH del suelo.

Se realizó un muestreo detallado de suelo siguiendo un patrón de muestreo aleatorio con una resolución de 1 muestra cada 1,7 ha, alcanzando un total de 400 has. El muestreo del suelo se realizó en forma manual con caladores, extrayéndose muestras compuestas (10-15 piques) en cada punto de muestreo (prof. 0–20 cm).

Los contenidos de P y MO se determinaron en el Laboratorio de la EEA Paraná del INTA, empleando procedimientos estándar. La variabilidad espacial observada en el caso de P muestra rangos de variación muy extensos (>100 ppm), aunque en promedio la mayor proporción del campo esta en valores de P medios (11,7 ppm) (Figuras 2 y 3). Como procedimiento demostrativo de mapeo se utilizó el método de distancia inversa ponderada, con coeficientes optimizados en 3. En el mapa generado se pueden observar áreas contrastantes, una zona de suelos mapeados como AV2 y AV3 (área erosionada) de la parte central del campo con valores muy bajos de P, y por el contrario en otro lote con las mismas unidades de suelos (zona Este del campo) con valores mayores a los promedios (>13,2 ppm de P), que probablemente evidencia una historia de manejo anterior diferente.

En el caso del contenido de materia organica, el procedimiento de mapeo fue similar, y evidencia tambien contenidos medios elevados de 3,8%, pero tambien gran variabilidad. En este caso más asociada a la diferenciación de suelos mapeada. Caber destacar que en este establecimiento, a escala reducidad de distancia se observas suelos Argiudoles (francos) y Vertisoles (arcillosos). En estos últimos, es habitual observar valores elevados de MO, sin que signifique esto una condición buena de fertilidad dado que las arcillas protejen la MO.

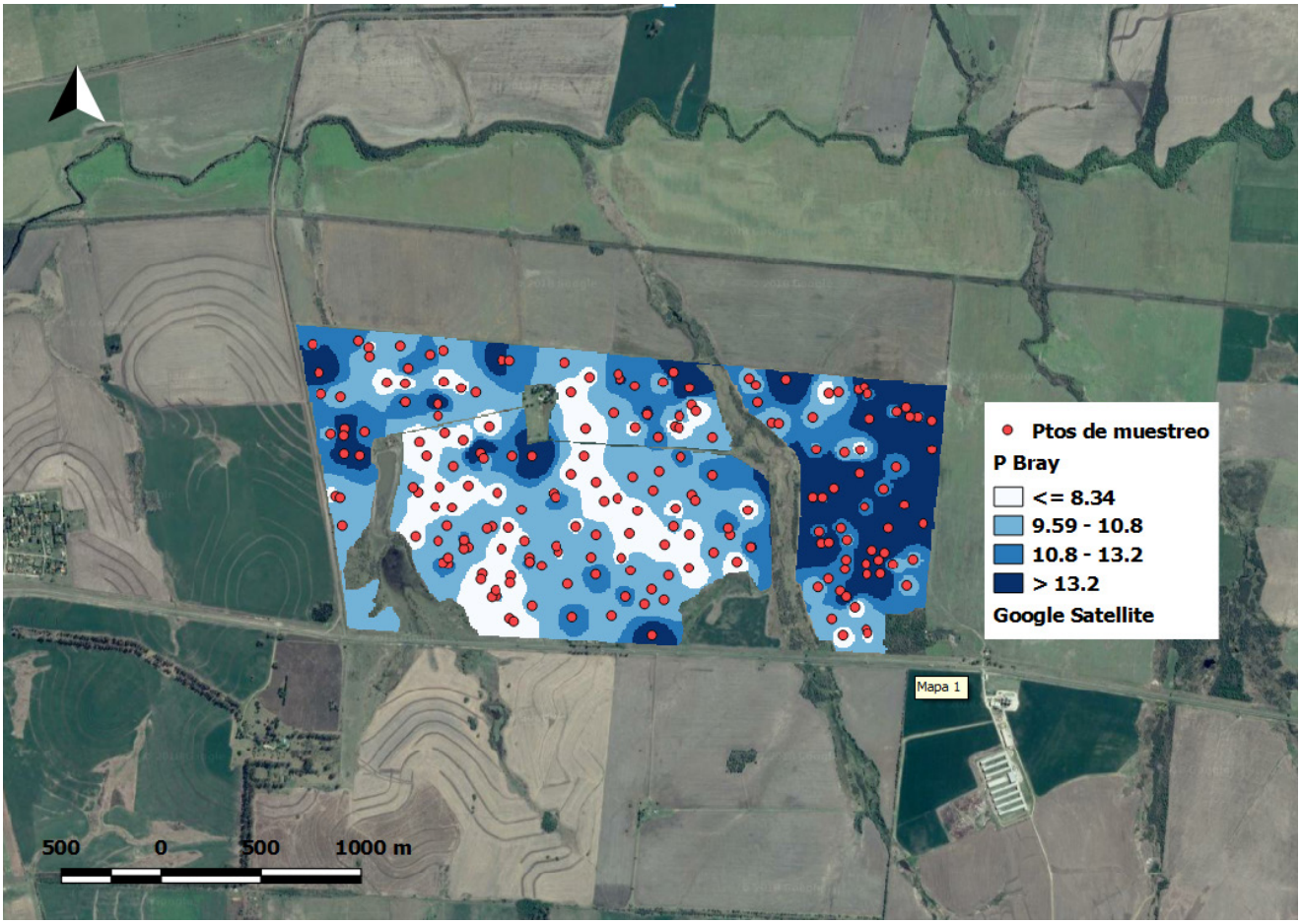



**Figura 2**: Mapa de distribución espacial del contenido de fosforo disponible (P Bray y Kurtz nº 1, 0-20 cm). Establecimiento Los Tilos, Nogoyá Entre Ríos.

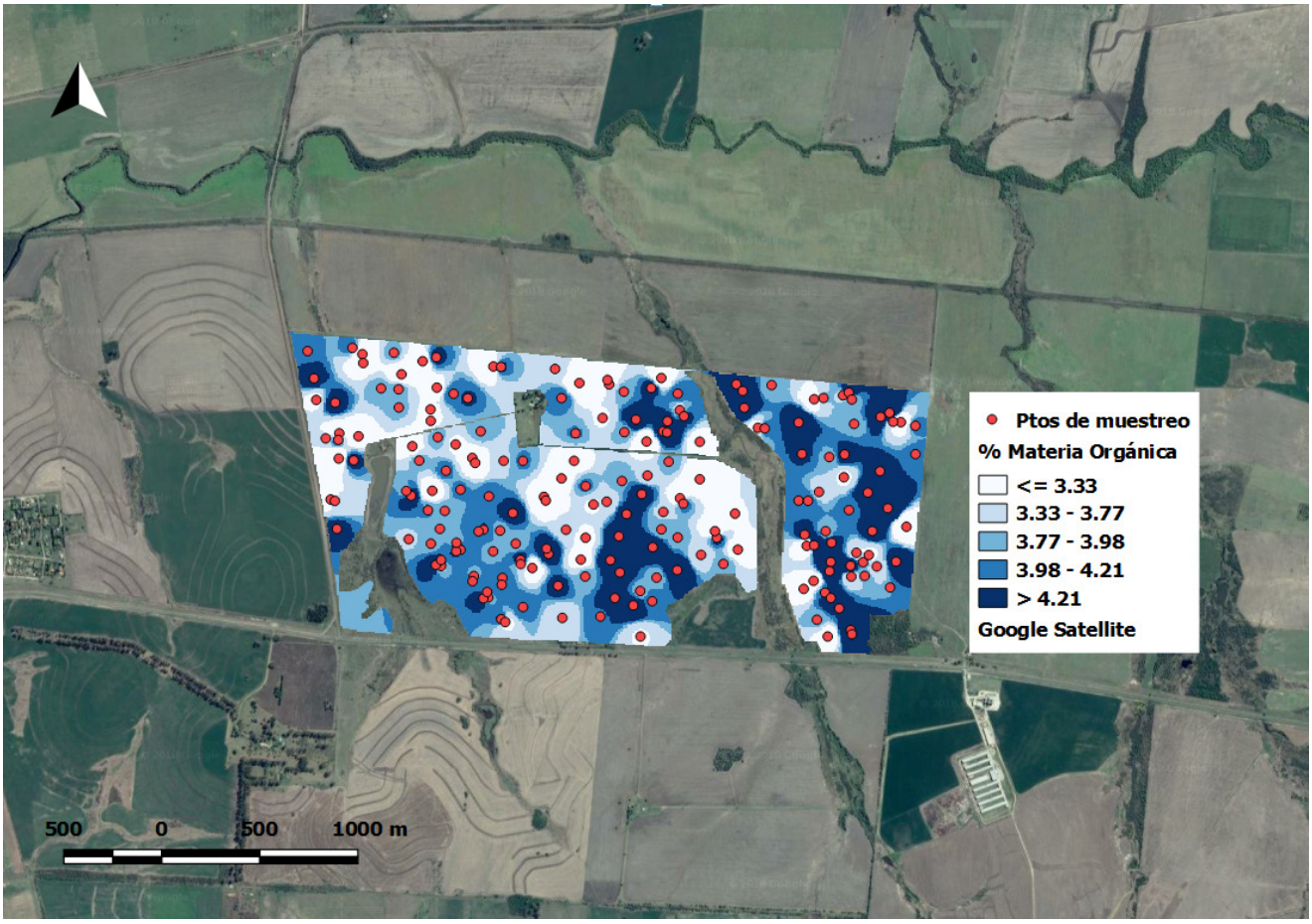
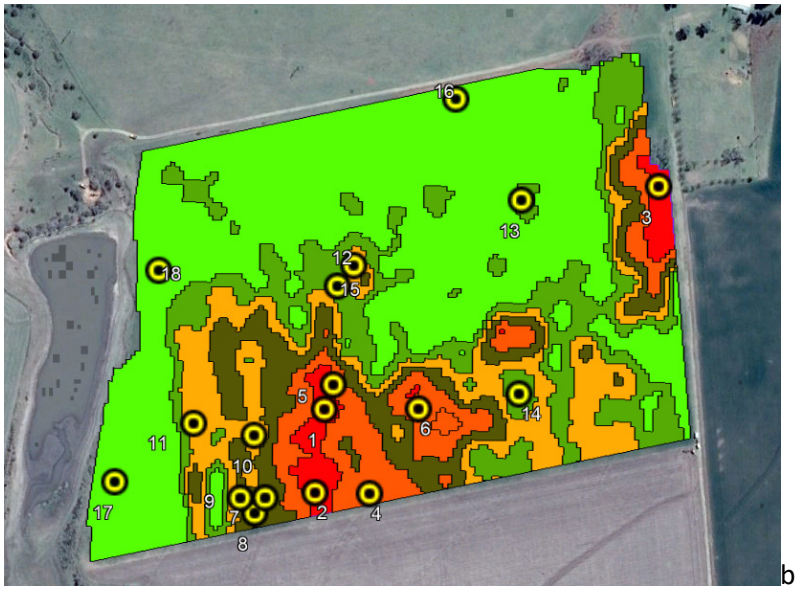



**Figura 3:** Mapa de distribución espacial del contenido de materia orgánica (MO%). Establecimiento Los Tilos, Nogoyá Entre Ríos.

**USO DE SENSORES PROXIMALES**

El uso de sensores proximales también se considera entre las herramientas que permiten obtener de una manera rápida, precisa y relativamente económica, una caracterización detallada de las variaciones en las propiedades del suelo. El objetivo del uso de estas, es ampliar la base de información de suelos relevada a fin de mejorar la capacidad de discriminar ambientes. Lo esperado del caso, es dar cuenta de diferencias en el contenido de arcillas principalmente debidas a diferentes tipos de suelos, y del contenido de MO, también afectados ambos por los procesos de erosión.

Las mediciones fueron realizadas con la rastra Veris 3150 en conjunto con OptiMapper (colaboración del equipo de Agricultura de Precisión de Monsanto). Esta información se utilizó para realizar una prescripción sitio específica para densidad de siembra y nitrógeno variable para maíz (en evaluación en esta campaña 20018/19). Las prescripciones, en este caso, se realizaron según protocolos de ambientación de Prescripciones Dekalb. La figura 4, pone en evidencia la alta variabilidad existente en estos ambientes, y el uso de estas como guía para la selección de sitios de muestreo de suelos.



b

**Figura 4:** Mapa de ambientación realizado en base a conductividad eléctrica aparente y contenido de (MO%), determinado con un sensor Veris 3150 (puntos indicados: sitios de muestreos adicionales de suelos para determinación de disponibildiad de N-NO3, por zonas para ajuste de dosis de N de fertilizante en maíz). Establecimiento Los Tilos, Nogoyá Entre Ríos.

**DELIMITACION DE AMBIENTES CON IMÁGENES SATELITALES**

La delimitación de ambientes de productividad diferencial, es una de las técnicas de AP más utilizadas para el ajuste de prácticas de manejo. Las diferencias de productividad pueden ser evaluadas mediante mapas de rendimiento o índices de vegetación, como el NDVI, obtenidos a partir de imágenes satelitales. En este caso, la ausencia de mapas de rendimiento fue compensada mediante el empleo de imágenes satelitales de seis campañas productivas. Debido a diferencias en los cultivos presentes en los distintos lotes se obtuvieron todas las imágenes disponibles libres de nubes de los satélites Landsat 7 y 8 de los meses comprendidos entre septiembre y abril desde el 2011 al 2017. Se calculó el NDVI para cada una de las fechas disponibles y se seleccionó por lote la fecha que el NDVI alcanzó el máximo valor medio, considerando esta fecha como la correspondiente al pico de crecimiento del cultivo presente. Este procedimiento se utilizó para identificar el pico de crecimiento en cultivos de invierno y verano.

En cada fecha seleccionada correspondiente al pico de crecimiento del cultivo se obtuvo el valor máximo de NDVI para cada lote y se utilizó este valor para relativizar todos los valores de NDVI del lote. Los valores de NDVI relativizados se compilaron a nivel de establecimiento considerando los cultivos de verano por un lado y la combinación de cultivos de invierno disponibles y verano por otro lado y se clasificaron en MZA.

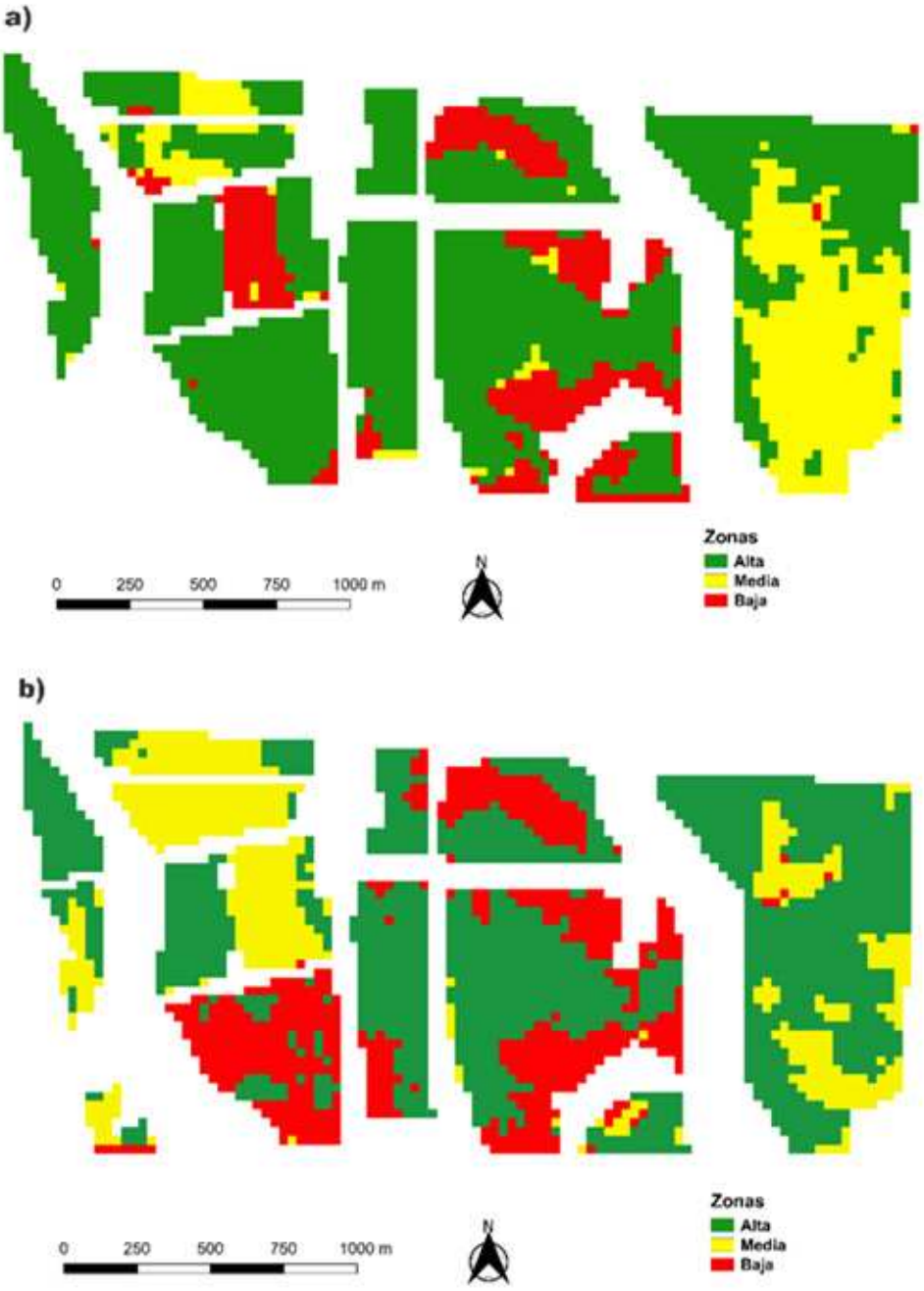



**Figura 5:** Zonas de manejo delimitadas a partir de valores de NDVI relativo considerando a) cultivos de verano, b) cultivos de verano e invierno.

La clasificación en MZA identificó tres zonas de productividad: alta, media y baja, tanto para los cultivos de verano, como para la combinación de cultivos de invierno y verano (Figura 5 a y b). La inclusión de cultivos de invierno en la clasificación (Figura 5b), generó una variación del 34% en las zonas delimitadas respecto a la clasificación a partir de cultivos de verano (Figura 5a). La zona más estable fue la de alta productividad, que mostró un 81% de coincidencia, mientras que las de media y baja productividad coincidieron en un 46 y 41%, respectivamente. Los mayores cambios, 57% de diferencia, se observaron en la zona de baja productividad para cultivos de verano e invierno que se clasificaron como de alta productividad cuando se analizaron sólo

cultivos de verano. Dado que la zona de alta productividad es la que representó la mayor proporción del área evaluada y la que coincidió en mayor medida, no resultó en ninguna ventaja adicional la incorporación de cultivos de invierno en la zonificación.

**PRACTICAS AGRONOMICAS POR AMBIENTE**

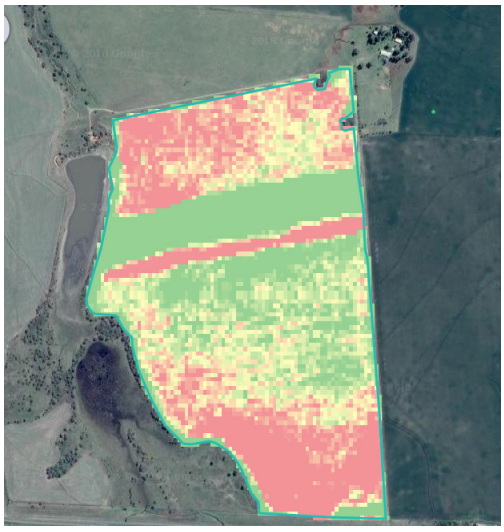
Entre los objetivos de este módulo, se plantea generar informacion agronómica regional que sustente la adopción de las prácticas de AP. En este sentido, se han planteado experimentaciones definidas a partir de intereses compartidos con los responsables del establecimiento, las capacidades e intereses del Grupo de Agricultura de Precisión de INTA, con la colaboración de la AER de Nogoyá y empresas e instituciones que colaboran en esta experiencia. Asi, en base a los resultados de la primer etapa orientada a caracterizar la variabilidad ambiental, se propuso evaluar la productividad de los cultivos según ambientes de productividad diferencial y evaluar técnicas de manejo variable de fertilización y densidad de cultivos.

**EVALUACION DE CULTIVARES DE SOJA MANEJO X AMBIENTES.**

El cultivo de soja es dominante en las secuencias agrícolas y requiere informacion que permita obtener beneficios del manejo de la variabilidad de la respuesta del cultivo por ambientes. Por tal motivo, se realizaron dos ensayos a través de zonas con variabildiad identificada para determinar respuestas diferenciales de cultivar y en respuesta a la fertilización fosforada según ambientes (Figuras 6 a y b) . Se evaluaron cultivares de soja de grupos de madurez IV largo a VI y fertilización con P, PS y PSZ aplicada en cobertura previo a la siembra en una dosis de 24 kg de P $ha^{-1}$.

Se realizó una jornada de campo para presentar las tecnologías y metodologías aplicadas para la identificación de ambientes de productividad diferencial, se analizó el comportamiento de los cultivares evaluados por ambiente (Figura 6 c) y se cosecharon los tratamientos de fertilización (Figura 6 d). De esta manera, se mostró cómo realizar ensayos por ambientes para evaluar prácticas de manejo, generando una instancia de intercambio enriquecedora para los técnicos, quienes manifiestan frecuentemente la necesidad de este tipo de capacitaciones. Se prevee la realización de una nueva jornada para presentar el análisis estadístico de los resultados de los ensayos y discusión de los mismos, como otra alternativa de intercambio. Asimismo, se continua con la realización de nuevos ensayos, para la cual se interactua con los asesores del establecimiento y la zona, y empresas del sectora que aportan al desarrollo de estas experiencias.

a



b

c

d

**Figura 6:** Imagen satelital de alta resolución en estadios tempranos (**a**: enero) y tardíos del cultivo de soja (**b**: marzo). **c**) Imágenes de reunión de demostración de experimentación de ensayo de cultivares por ambientes. **d**) Cosecha de ensayos en franjas mediante uso de monitoreo de rendimiento.

**MAPEO DE RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS**

Los mapas de rendimiento integran la varibilidad existente en el campo y la climática, permitiendo la identificación de zonas de manejo. Resulta difícil identificar zonas de manejo basándose en el mapa derendimiento de un solo año debido a la variaición climática interanual. Cuando se inició con el módulo no se disponía de mapas de rendimiento del establecimiento.

Aunque un solo mapa de rendimiento tiene valor limitado para decidir estrategias de manejo variable en períodos de mediano a largo plazo, el mapa de rendimiento de una año en particular sirve para realizar interpretaciones de las posibles causas de la variación del rendimiento en ese año (Figura 7). Con datos de rendimiento de varios años, pueden identificarse patrones de rendimientos y separar las causas naturales de la variación de aquellas debidas al manejo o errores de medición.

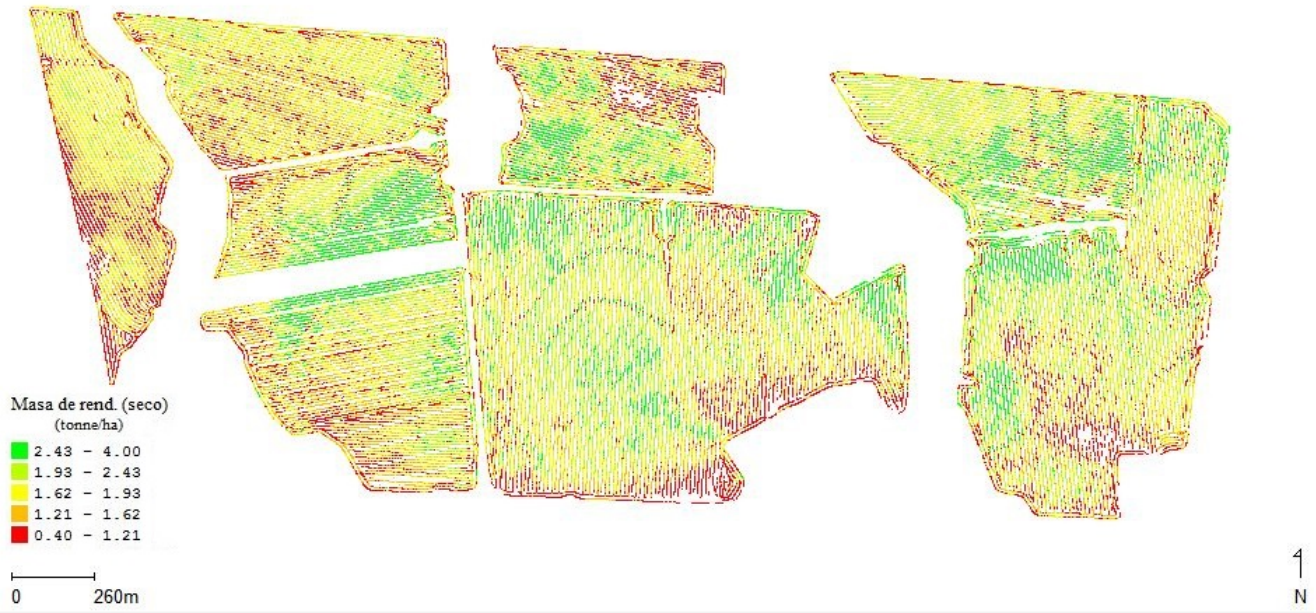



**Figura 7.** Mapa de rendimiento del cultivo de soja, campaña 2017/2018

**PRESCRIPCIONES POR AMBIENTES**

La identificación y delimitación de ambientes de productividad diferencial en base al NDVI obtenido de imágenes satelitales, posibilitó diseñar estrategias de ajuste de prácticas de manejo, en particular, a la aplicación variable de fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo. Se realizaron muestreos dirigidos por zona para determinar la disponibilidad de N-$NO_3$ y se aplicó un modelo de recomendación para fertilización nitrogenada propuesto por Melchiori y Barbagelata (2001) para calcular la dosis correspondiente a cada uno de los ambientes identificados (Figura 8). Los resultados de los manejos por ambientes, se verificaran mediante cosecha con monitoreo de rendimientos y análisis agronómico y económico de los manejos diferenciales.

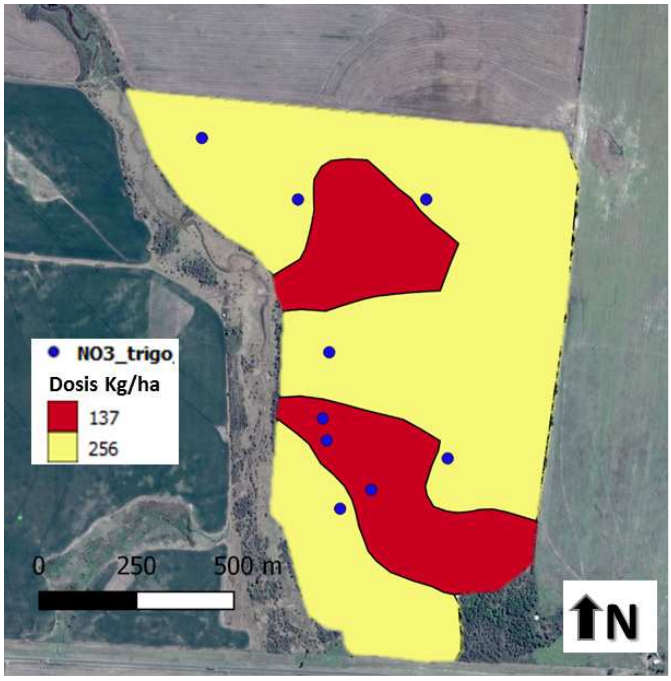



**Figura 8:** Zonas de manejo delimitadas a partir de valores de NDVI relativo, sitios de muestreo (puntos en azul) y dodis prescriptas por zonas.

**CONSIDERACIONES FINALES**

El desarrollo de este módulo demostrativo experimental surgió en respuesta a demandas internas del proceso de evaluacion de proyectos de INTA. Asi, esta experiencia ha permitido comenzar a integrar intereses de diferentes actores del sector junto a INTA y en un modelo de producción real.

La idea se generó vinculando actividades del Proyecto de Agricultura de Precisión, con otros regionales, asi como también con la colaboración de asesores del estableciomiento, técnicos de la Agencia de Extensión local y de otros grupos de la EEA Paraná y empresas vinculadas al sector agropecuario con interés en la Agricultura de Precisión.

Se ha avanzado en la caracterización ambiental con distintas metodologías, se realizaron demostraciones y capacitaciones y se llevan adelante experiencias de manejo de cultivos.

En adelante, se profundizarán evaluaciones de los resultados, integrando los mismos a las desiciones de manejo del establecimiento.

**AGRADECIMIENTOS**

Se agradece muy especialmente a los asesores técnicos del Establecimiento Los Tilos, al personal auxiliar del grupo de Recursos Naturales y Factores Abióticos de la EEA Paraná, a la Asociación Cooperadora de la EEA Paraná del INTA y a las empresas que colaboran en la experiencia. Este trabajo fue parcialmente financiado con fondos del proyecto PNAIyAV-1130023: "Tecnologías de agricultura de precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria" y ERios 02 (PRET CO) - 1263102

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

Brito Silva C., M. A Ferraz Dias de Moraes, J.P. Molin. 2011. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of Sa˜o Paulo state, Brazil. Precision Agric (2011) 12:67–81.

Dabberkow, S. G. y Mc Bride, W.D. 2003. Farm and coperator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. Precision Agriculture, 4, 163-77.

Erickson, B.; Widmar, D.; Holland, J. 2013. Precision Agriculture Survey: Final Thoughts And Future Trends. www.croplife.com/article/print/34107/

Kutter T., S. Tiemann, R. Siebert, S. Fountas. 2011. The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. Precision Agric. 12:2–17.

McBratney, A.; Whelan, B.; Ancev, T. y Bouma J. 2005. Future directions of precision agriculture. Precision Agriculture, 6, 7–23.

Melchiori, R. J. M., & Barbagelata, P. A. (2001). Diagnóstico de Fertilización Nitrogenada para trigo en el Oeste de la provincia de Entre Ríos. In Resumen V congreso Nacional de Trigo. II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal. Villa Carlos Paz. Córdoba (p. 19).

Melchiori, R. J. M., Albarenque, S. M., & Kemerer, A. C. (2013). Uso, adopción y limitaciones de la agricultura de precisión en Argentina. Curso Int. Agric. Precisión, 12(2013), 07.

Melchiori, R. J. M., Albarenque, S. M., & Kemerer, A. C. (2018). Uso, adopción y limitaciones de la agricultura de precisión en Argentina. Curso Int. Agric. Precisión, (2018).

Reichardt, M. y Jürgens C. 2009. Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. Precision Agriculture, 10, 73-94.

Robertson, M. J.; Llewellyn, R. S.; Mandel, R.; Lawes, R.; Bramley, R. G. V.; Swift, L.; Metz, N. y O'Callaghan, C. 2012. Adoption ofvariable rate fertilizer application in the Australian grains industry: status, issues and prospects. Precision Agriculture,13,181–199.

Scaramuzza;F.; D. Villarroel; J. P. Vélez. 2017. incremento de las herramientas de agricultura de precisión. mayor automatismo y precisión para la sustentabilidad del ambiente productivo Curso Int. Agric. Precisión, 8(2017), 07

Schulz G, Bedendo D, Wilson M, Oszust J, Pausich G (2010). Muestreador columnar de suelos.Alternativas de uso con fines edafológicos. 2 Relevamiento expeditivo de suelos (prospección rápida). En: Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Argentina (resumen expandido en CD-ROM, 4 pp).

Swinton, S. M. y Lowenberg-Deboer, J. 2002. Global adoption of precision agriculture technologies: who, when and why? En actas 2nd International Conference on Precision Agriculture. 557-562

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

Fundación CIDETER

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# GENERACIÓN DE MAPAS DE PRESCRIPCIÓN VARIABLE DE NITRÓGENO UTILIZANDO IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS

**Melchiori, Ricardo[1]; Melchiori, Arturo[2]; Albarenque, Susana[1]; Kemerer, Alejandra[1,3]**

[1]Estación Experimental Agropecuaria Paraná del INTA, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
[2]Consultor Independiente, Biongeniero, Gualeguaychú, Entre Ríos, Argentina
[3]Facultad de ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro verde, Entre Ríos Argentina

## INTRODUCCIÓN

La utilización de estrategias de manejo variable de fertilizantes ha sido tempranamente sugerida como una práctica que permite sincronizar la variabilidad de la oferta de nutrientes en el suelo con la demanda del cultivo en relación a su variabilidad espacial (Raun y Johnson, 1999). Así, la utilización de estas técnicas de Agricultura de Precisión contribuye a optimizar la productividad y minimizar el impacto ambiental (Pierce y Nowak, 1999; Bongiovanni y Lowenberg-DeBoer 2004).

El uso de herramientas de sensoramiento remoto ha permitido desarrollar algoritmos para la prescripción variable de nitrógeno (N). Al respecto, existen distintas aproximaciones y propuestas recientemente comparadas (Raun et al., 2017), las que en general utilizan índices de vegetación simples para diagnosticar el estado nitrogenado de las plantas, y a partir de esto proponer recomendaciones de fertilización. Aunque estas aproximaciones están disponibles, su utilización no demuestra resultados concluyentes en cuanto al beneficio económico (Scharf et al., 2011) dado que la respuesta a la fertilización en cultivos no solo depende de la capacidad de diagnosticar la deficiencia, sino también de las condiciones ambientales que afectan el rendimiento del cultivo y la respuesta a la fertilización.

Existen metodologías, como la desarrollada por Raun et al. (2005), que proponen no solo diagnosticar las necesidades de re-fertilización, sino además estimar la respuesta esperada y las dosis. En este sentido, este tipo de modelo fue utilizado y localmente se desarrollaron parámetros para su implementación en trigo (Melchiori et al., 2007) y maíz (Melchiori et al., 2006) en Argentina. Los resultados de su utilización han sido evaluados y demostrados a escala de experimentación en parcelas, así como también en pruebas realizadas a nivel de lotes comerciales con equipos montados en aplicadores autopropulsados (Melchiori et al., 2009). No obstante, debe señalarse que, aunque este tipo de equipos ha estado disponible en Argentina desde hace más de 10 años, la adopción del uso de los mismos para la prescripción variable de N en tiempo real no ha prosperado (Melchiori et al., 2013). Diversas cuestiones condicionan la adopción. Por un lado, puede considerarse el alto costo de los equipos, así como el largo tiempo de repago de la inversión dado el escaso retorno de este tipo de técnica, como sugieren (Scharf et al., 2011; Colaço y Bramley, 2018). Por otro lado, la escasa magnitud de las dosis de fertilización utilizadas en Argentina que relativizan los efectos posibles de ganancia del manejo sitio específico por vía de la mejor eficiencia de uso del N.

En este contexto, resulta relevante generar herramientas conceptualmente sólidas, de resolución práctica y económica. En este sentido, en los últimos años se evidencia un rápido surgimiento de plataformas Web que permiten acceder a imágenes y al monitoreo remoto de cultivos (Melchiori et al., 2018). Así mismo, algunas de estas herramientas proponen alternativas para la generación de prescripciones de fertilización, aunque no se reportan ni se describen los métodos que se aplican. En algunos casos, las plataformas solo proponen alternativas para distribuir espacialmente los fertilizantes sin una estimación de la dosis de fertilización.

Trabajos recientes desarrollados por Melchiori et al. (2016) han considerado y propuesto la integración de las virtudes de las distintas metodologías de recomendación de N disponibles (Raun et al. 2005, 2011, Mullen et al 2003, Johnson y Raun, 2003, Franzen et al. 2016, Holland y Schepers 2013). Estos avances, junto con el manejo adecuado de los conceptos básicos de los métodos de diagnóstico de nitrógeno, y su

desarrollo sobre la base de plataformas que facilitan el acceso a imágenes satelitales de alta calidad, adecuada resolución espacial, y libre disponibilidad, generan amplias oportunidades para desarrollar e impulsar la adopción de herramientas para el manejo sitio específico de N. En relación a lo planteado, en este trabajo se propone, desarrolla y demuestra el funcionamiento de un sistema de prescripción variable de N basado en el uso de imágenes de índices de vegetación. El procedimiento es aplicable a la información proveniente de satélites, aviones o sistemas no tripulados equipados con sensores multiespectrales. El objetivo de este trabajo es describir el sistema de prescripción variable en el cultivo de trigo.

**DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

El sistema propuesto sintetiza el conocimiento adquirido y desarrollado en el uso de sensores remotos activos para el diagnóstico de fertilización nitrogenada en trigo y maíz por el equipo de Agricultura de Precision de la EEA Paraná del INTA, junto con la consideración del estado del arte en la temática recientemente relevado por Franzen et al. (2016).

**MODELOS DE RECOMENDACIÓN**

El modelo de recomendación empleado se basa en dos principios fundamentales, el primero que la demanda de N de un cultivo depende del rendimiento alcanzable (Meissinger et al., 1994; Raun et al., 2005), y el segundo que la respuesta a la fertilización es independiente del rendimiento (Raun et al., 2011). Numerosos estudios demuestran que tanto el rendimiento como el índice de respuesta pueden estimarse a partir de índices de vegetación obtenidos a media estación de crecimiento del cultivo (Franzen et al., 2016). Adicionalmente, se han logrado evidencias que demuestran que la predicción de la respuesta a la fertilización puede estimarse a partir de valores de índices de vegetación de referencia generados desde la variabilidad natural medida en lotes de producción como proponen Holland y Schepers (2013). De manera general, lo descripto permite desarrollar una propuesta principalmente basada en ideas de Raun et al. (2005), pero con ecuaciones ajustadas localmente (Melchiori et al., 2007), e integrando modificaciones desde Holland y Schepers (2013). Para esto, se desarrollaron experimentaciones en la EEA Paraná del INTA, desde 2004 al presente, que permitieron generar parámetros locales para las ecuaciones requeridas, así como información y criterios que permiten diferir las fertilizaciones a los estadios requeridos para la utilización de sensores, como el inicio de encañazón en trigo (1er y 2do nudo visible) y estadios de 8 a 12 hojas desplegadas en maíz.

**DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

La libre disponibilidad de imágenes de sensores remotos satelitales de diferentes resoluciones espaciales y temporales a través de interfaces de comunicación maquina a máquina, permiten la automatización de los procesos de búsqueda y descarga de imágenes, facilitando el procesamiento de diferentes áreas de interés.
El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) publica una aplicación de programación de interfaces (API) para la comunicación con servidores de imágenes en diferentes resoluciones espaciales, temporales y espectrales (USGS EROS 2018). El catálogo disponible en los servidores Earth Explorer o Glovis, está habilitado para la consulta y descarga en modo automático lo que permite disponer en tiempo real de datos de Landsat-8 OLI Colección 1 y algunos datos Sentinel-2A y 2B. Las imágenes Landsat-8 OLI tienen una resolución espacial de 30 metros y un período de revisita máximo de 16 días en cualquier lugar de la tierra (Roy et al., 2014). Del mismo modo, la Agencia Espacial Europea ESA pone a disponibilidad los datos de sensores de la constelación Sentinel-2 (Drusch et al., 2012, ESA Copernicus Open API 2018). Las imágenes Sentinel-2 tienen resoluciones espaciales de 10, 20 y 60 metros dependiendo de la banda espectral en consideración con una resolución temporal de 5 días en cualquier lugar de la tierra (Gatti et al., 2018).
La consideración del uso combinado de los tres sensores, Landsat-8 OLI y los Sentinel-2 A y B, permite

alcanzar una resolución temporal de 3 días, lo que permite disponer de una serie temporal relativamente densa de imágenes en la resolución espacio-temporal adecuada para el trabajo agronómico de monitoreo durante el crecimiento de los cultivos. Adicionalmente, ha sido demostrada la similitud entre las imágenes de ambas misiones lo cual habilita el uso combinado de las mismas para lograr los incrementos mencionados en la revisita (Li y Roy, 2017).

Tanto el USGS como la ESA permiten el acceso mediante el registro libre, aunque la descarga de imágenes de los servidores de USGS en forma autónoma, requiere de un permiso especial liberado por parte de los administradores del sistema. Ambas interfaces de comunicación con los servidores de imágenes, permiten al usuario indicar el área de interés y un período de fechas para la búsqueda de imágenes, además del nivel de cobertura de nubes admitido. De este modo, es posible seleccionar imágenes en forma óptima para alcanzar requisitos de proximidad temporal a la fecha de interés, para el monitoreo y la generación del mapa de prescripción (Figura 1).

En ambos casos se utilizan las imágenes en nivel de procesamiento L1. Esto es, datos de reflectancia de la imagen en tope de atmósfera o en el sensor (TOA), de las cuales se corta el área de interés. En base a estos datos es calculado el índice de vegetación NDVI con el objetivo de obtener el dato de entrada para el modelo de prescripción.

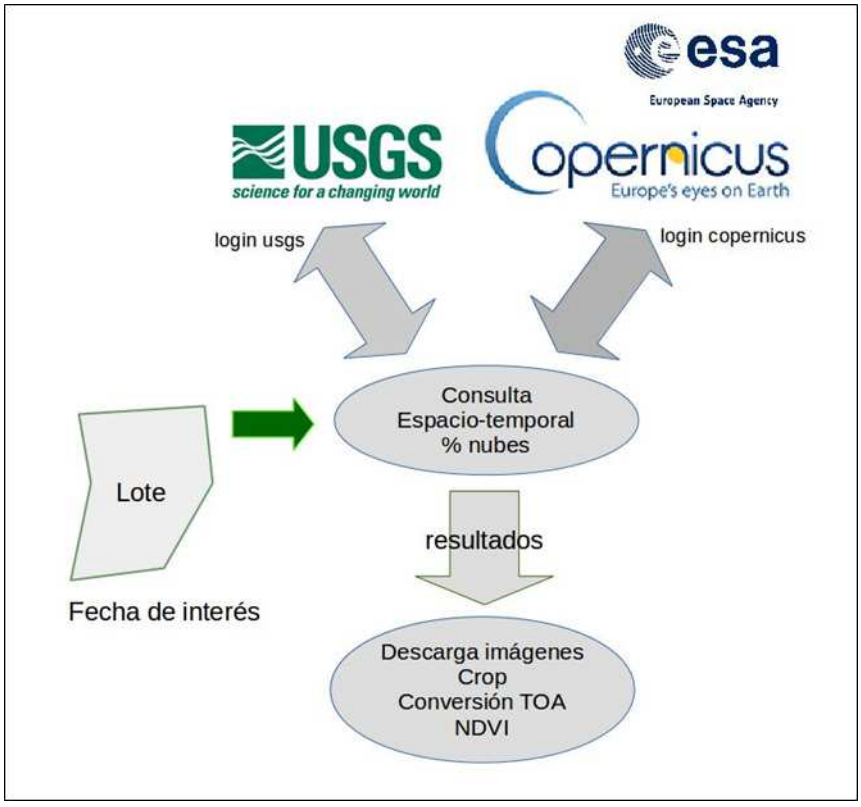



Figura 1. Un diagrama de flujo resumido del módulo de búsqueda, descarga y pre-procesamiento de imágenes Landsat-8 (login USGS) y Sentinel-2 (login COPERNICUS). Selección del área de interés (lote) y fecha de interés según fenología de cultivo. Selección de imagen apropiada (resultados), y descarga.

**REQUISITOS DE FUNCIONAMIENTO**

El sistema esta creado considerando que el usuario en una primera instancia selecciona el área de interés donde calcular la dosis de re-fertilización. Este procedimiento se realiza generando un polígono en formato KML o SHP a partir de la visualización del lote en cuestión sobre imágenes de Google Earth (Figura 2a). La selección del área de trabajo debe excluir zonas de interferencia en las imágenes como cañadas, árboles u otra vegetación que altere los valores de los índices de vegetación obtenidos en el cultivo de interés. Se

debe especificar la fecha para la adquisición de las imágenes a utilizar como diagnóstico, esto es lo más cercano a los estadios sugeridos (i.e. fin de macollaje/encañazón en trigo).
Respecto a los parámetros requeridos por el modelo de recomendación, el usuario debe especificar el rendimiento máximo alcanzable, esto es el rendimiento acorde al ambiente o lote en cuestión en condiciones de muy buena productividad. También se requiere especificar un valor de eficiencia de uso del N del fertilizante esperada, así como también especificar el % de N del fertilizante nitrogenado a utilizar para que el resultado se exprese directamente en kg de fertilizante $ha^{-1}$.

**SISTEMA DE RECOMENDACIÓN AUTOMATIZADO**

El sistema desarrollado implementa los métodos para procesar las imágenes NDVI y generar el mapa de prescripción de fertilización nitrogenada correspondiente, considerando los requisitos de la maquinaria de aplicación disponible. Estos requisitos permiten obtener archivos de prescripción adecuados a las condiciones de trabajo de las máquinas de aplicación, como ser el ancho de trabajo del aplicador, tipo de fertilizante utilizado, número máximo de polígonos permitido por el controlador para variar la dosis de fertilizante y otras diferentes opciones de ajustes que puedan ser necesarias.

**RESULTADOS DEMOSTRATIVOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MÉTODO**

La funcionalidad del modelo de recomendación para el cálculo de dosis de re-fertilización para trigo se está testeando a nivel de pruebas realizadas en lotes de producción comercial. Hasta el presente, se han realizado pruebas preliminares en 2016/17 en un lote de la EEA Paraná y en un campo de producción en el Departamento Diamante. Esta campaña, se continúan las pruebas de ajuste en lotes en Paraná y en un campo de producción en Nogoyá (Entre Ríos).
En este reporte se presentan los resultados obtenidos para un lote localizado en el predio de la EEA Paraná del INTA. Las pruebas de campo se realizan sobre un lote que se fertilizó al voleo previo a la siembra con una mezcla física de fertilizante (10-46-0-9) en una dosis de 150 kg $ha^{-1}$. El trigo (Klein Liebre) fue sembrado el 14 de junio con una dosis de 140 kg de semilla $ha^{-1}$, se fertilizó con N al voleo el 6 de julio con una dosis de urea de 100 kg $ha^{-1}$ aplicada al estadio de 2-3 macollos, y se realizó el diagnóstico y re-fertilización variable con nitrógeno aplicando el algoritmo propuesto, al estadio de 1-2 nudos visibles el 7 de septiembre. La aplicación del N en dosis variable se realizó con una fertilizadora de arrastre con distribución neumática Altina, modelo HP 3014, equipada con un equipo de dosificación variable Agrotax 9500 AGP.

Se seleccionó el lote a re-fertilizar a través de dos polígonos que se generaron en Google Earth de manera separada para evitar el área correspondiente a una cañada que atraviesa el lote, evitando de esta manera que genere interferencia por los valores de índices de vegetación en dicho sector. De los servidores de imágenes, se obtuvo la más cercana al estadío de aplicación, en este caso se dispuso de una imagen Sentinel 2B 20HQK correspondiente a la fecha del 4 de septiembre de 2018. A partir de esta, se calculó el NDVI (Figura 2b), y se generaron las estimaciones requeridas para la recomendación de re-fertilización con N.

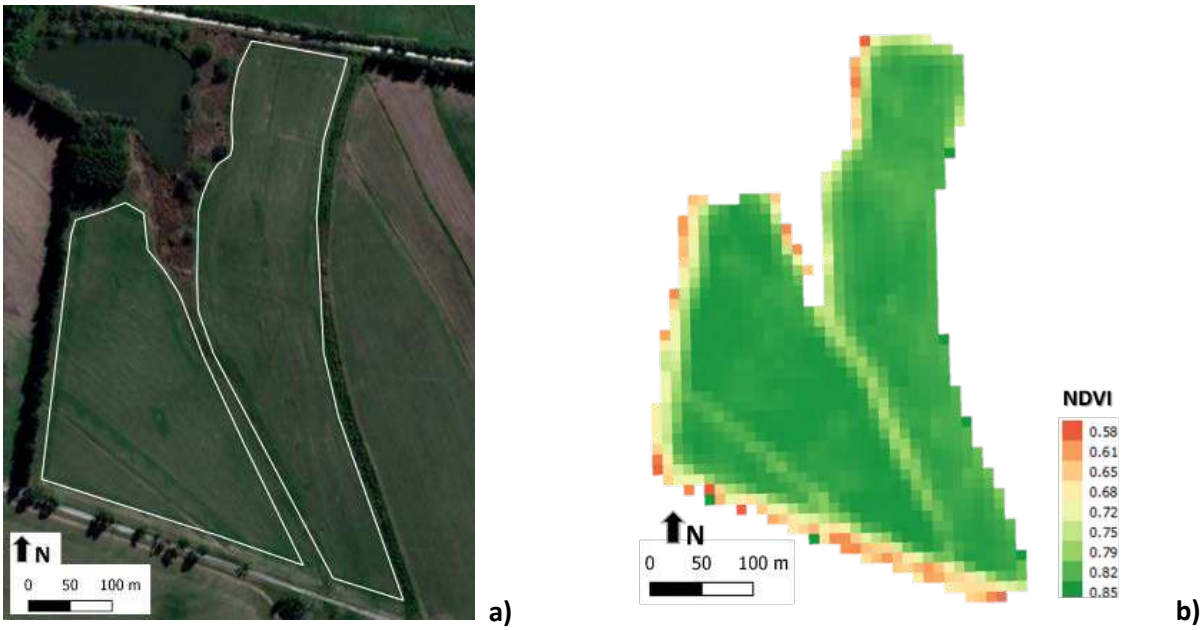



**Figura 2 a)** Selección del área de interés en base a Google Earth **b)** imagen de NDVI del cultivo de trigo en el estadio de encañazón (1-2 nudos visibles) obtenida a partir de imagen Sentinel 2B para el área de interés.

En general los valores de NDVI observados en el canopeo del cultivo fueron elevados, con un valor promedio para el lote de 0.75 (Tabla 1), los valores más bajos se observaron en el área correspondiente a la cañada que atraviesa el lote y en la zona de los bordes, valores que posteriormente fueron eliminados del mapa de prescripción.

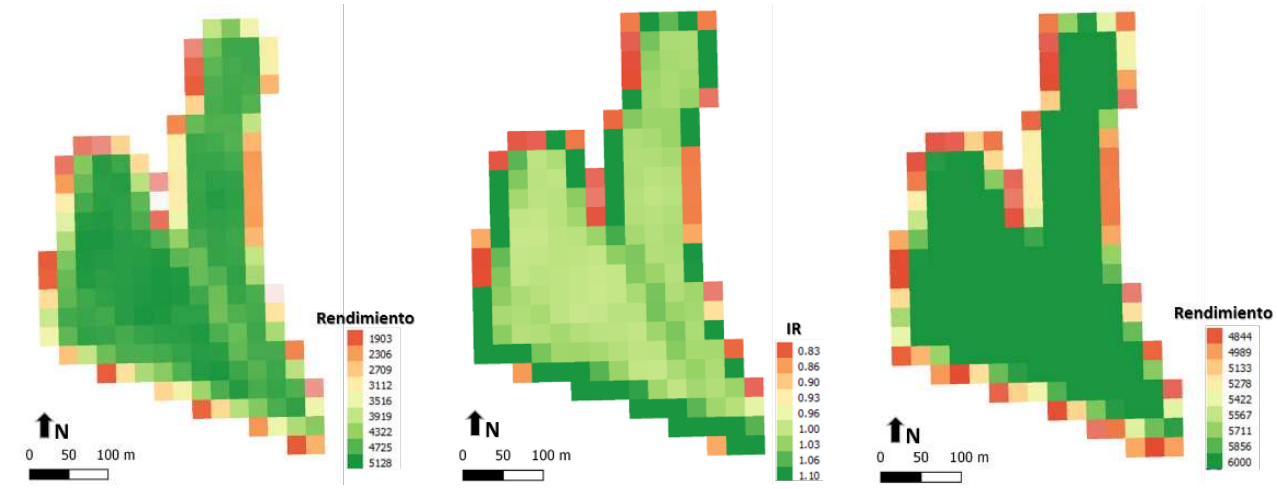
La imagen de NDVI fue re-muestreada a una resolución acorde a los requerimientos del ancho de trabajo de la fertilizadora, en este caso a un tamaño de píxel de 28 m (2 veces el ancho de labor). Se aplicó el modelo para la estimación del rendimiento a partir de la imagen de NDVI (Figura 3a). Dado que los valores de NDVI fueron en general elevados, el rendimiento estimado también mostró el mismo comportamiento, con un valor promedio para el lote de 4076 kg $ha^{-1}$ y un máximo de 5127 kg $ha^{-1}$ (Tabla 1).

**Tabla 1.** Valores calculados y estimados mediante un sistema de prescripción automática de re-fertilización: Índice de vegetación (NDVI), rendimiento estimado de trigo sin re fertilización, estimación referencia virtual para percentil de 95%, estimación del rendimiento con re-fertilización ($Y_N$), y dosis de N prescripta.

| Estimaciones y cálculos | Promedio | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|
| **NDVI** | 0.75 | 0.31 | 0.86 |
| **$Y_0$** | 4076 | 1216 | 5127 |
| **Referencia virtual (P95%)** | 0.85 | | |
| **IR** | 1.22 | 0.99 | 2.76 |
| **$Y_N$** | 5699 | 4775 | 6000 |
| **Dosis de N estimada** | 110 | 59 | 258 |

El valor de NDVI de referencia determinado en el procedimiento fue de 0.85, considerándose este, como equivalente a una situación de crecimiento del cultivo sin limitación de rendimiento, como se reporta en la bibliografía. A partir de este valor, se calculó el índice de respuesta esperada a la fertilización (IR) para las condiciones observadas del cultivo (Figura 3b). El valor del IR osciló entre 0.99 y 2.75 (Tabla 1). El

rendimiento medio estimado con re-fertilización fue de 5699 kg $ha^{-1}$, con una gran proporción del lote donde se estimó que el rendimiento alcanzaría los valores máximos definidos (Figura 3c).




**a)** **b)** **c)**

**Figura 3.** a) Rendimiento estimado sin re-fertilización ($Y_0$) a partir de la imagen de NDVI; b) índice de respuesta calculado a partir de valores de NDVI de referencia; c) rendimiento estimado con re-fertilización ($Y_N$) en base al modelo considerando el rendimiento ($Y_0$) y el índice de respuesta (IR).

El modelo propuesto considera la información de rendimientos y respuesta estimada a la re-fertilización junto con la concentración de N en grano de trigo para estimar la dosis de N a aplicar. La dosis de aplicación se ajusta según una eficiencia de uso del N esperada en cada lote en particular, y la dosis expresada como kg $ha^{-1}$ de fertilizante, se calcula en relación al % de N de la fuente de fertilizante utilizada. Por último, el sistema convierte la imagen (raster) a un vector de polígonos para ser empleado como archivo de prescripción (extensión SHP), utilizable en la generalidad de equipos de fertilización variable (Figura 4).

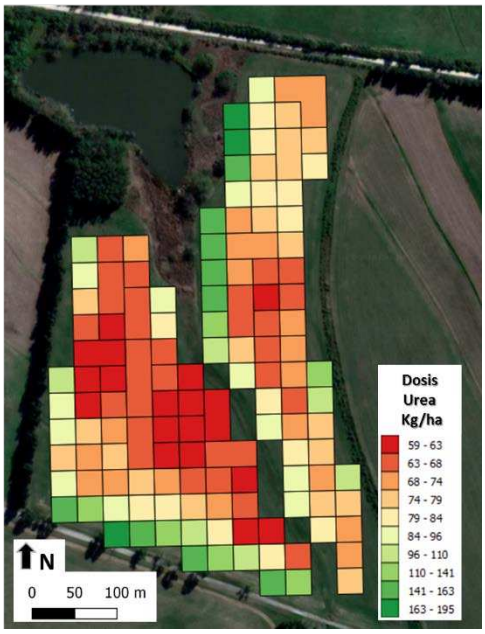



**Figura 4.** Mapa de prescripción variable para re-fertilización nitrogenada en trigo, EEA Paraná del INTA. (2018)

Los resultados obtenidos, demuestran la funcionalidad del sistema en un tiempo de procesamiento acorde a lo requerido para la toma de decisión de re-fertilizaciones en cultivos de trigo a media estación de

crecimiento. Actualmente se está trabajando en la evaluación del funcionamiento del sistema en distintos ambientes, a la vez que se estudian factores que pueden contribuir a mejorar las prescripciones, como ser la consideración de imágenes de distinto origen y con distintos niveles de corrección. Así mismo, se están comparando diferentes ecuaciones disponibles para explorar el grado de ajuste de las estimaciones en ambientes de distinta productividad.

Por otra parte, se dispone también de procedimientos e información para las ecuaciones requeridas en la aplicación de este tipo de sistema en el cultivo de maíz, y otros cereales o cultivos industriales que requieran la utilización de fertilización nitrogenada (e.g. caña de azúcar). Los resultados de la implementación de esta propuesta, tienen como finalidad contribuir a un uso más eficiente y racional del nitrógeno del fertilizante. Finalmente, se espera generar además la implementación de este modelo en distintas plataformas Web de gestión y administración de datos.

**AGRADECIMIENTOS**

Al personal del Grupo de trabajo en Recursos Naturales y Factores Abióticos de la EEA Paraná, con quien se comparte el trabajo en el área experimental de la micro cuenca utilizada en la presente experiencia, y a la Asociación Cooperadora de la EEA Paraná del INTA que administra los lotes de producción comercial. Este trabajo fue parcialmente financiado con fondos del proyecto PNAIyAV-1130023: "Tecnologías de agricultura de precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria" de INTA.

**REFERENCIAS**

Bongiovanni, R., &, Lowenberg-DeBoer J. 2004. Precision agriculture and sustainability. *Precision agriculture*, *5*(4), 359-387.

Colaço, A. F., & Bramley, R. G. V. 2018. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? *Field Crops Research*, *218*, 126-140.

Drusch M., Del Bello U., Carlier S., Colin O., Fernandez V., Gascon F., Hoersch B., Isola C., Laberinti P., Martimort P., Meygret A., Spoto F., Sy O., Marchese F., Bargellini P. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, Remote Sensing of Environment, Volume 120, (2012), Pages 25-36, ISSN 0034-4257, https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026.

ESA Copernicus Open API. https://scihub.copernicus.eu/twiki/do/view/SciHubWebPortal/APIHubDescription. Acceso en Mayo de 2018.

Franzen, D., Kitchen, N., Holland, K., Schepers, J., & Raun, W. (2016). Algorithms for in-season nutrient management in cereals. Agronomy Journal, 108(5), 1775-1781.

Gatti A., Gallopo A. Castellani C., Carriero F. Sentinel-2 Products Specification Document. (2018). Issue 14.5.

Holland, K.H.; Schepers, J.S. (2013). Use of a virtual-reference concept to interpret active crop canopy sensor data. Precision Agriculture. 14(1), 71–85. DOI: 10.1007/s11119-012-9301-6

Johnson, G. V., & Raun, W. R. (2003). Nitrogen response index as a guide to fertilizer management. Journal of plant Nutrition, 26(2), 249-262.

Li, J.; Roy, D.P. (2017). A Global Analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 Data Revisit Intervals and Implications for Terrestrial Monitoring. Remote Sensing. 9, 902.

Meisinger, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil crops system. In: Nitrogen in crop production. Hauck R.D. (Ed). Soil Science Society of America. USA

Melchiori, R. J., Caviglia, O. P., Bianchini, A. A., Faccendini, N., & Raun, W. 2006. Use of Sensor Based Nitrogen Rates to Improve Maize Nitrogen Use Efficiency in the Northern Argentinean Pampas.

Melchiori, R. J. M., Caviglia, O. P., Faccendini, N., & Albarenque, S. M. 2007. Utilización de sensores remotos para manejo de nitrógeno en trigo. EEA Paraná Serie de Extensión N 42. Actualización Técnica Cultivos de Invierno. ISSN 0325–8874. P 32, 37.

Melchiori, R.J.M.; Caviglia, O.P; & Albarenque, S.M. 2009. Manejo sitio-específico del nitrógeno en el cultivo de trigo basado en sensores remotos. En: Jornada Nacional de Agricultura de Precisión, integrando tecnologías para una agricultura sustentable. Eds: Melchiori, R.J.M.; Caviglia, O.P; & Albarenque, S.M.; & Kemerer, A.C. ISBN 978-987-1623-21-1

Melchiori, R. J. M., Albarenque, S. M., & Kemerer, A. C. 2013. Uso, adopción y limitaciones de la agricultura de precisión en Argentina. Curso Int. Agric. Precisión, 12, 07.

Melchiori, R.; Kemerer, A.; Casuccio, L.; Albarenque, S. 2016. Fotografías obtenidas por drones para la prescripción variable de nitrógeno en trigo. XVII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica SELPER.

Melchiori 2018

Mullen, R. W., Freeman, K. W., Raun, W. R., Johnson, G. V., Stone, M. L., & Solie, J. B. (2003). Identifying an in-season response index and the potential to increase wheat yield with nitrogen. Agronomy Journal, 95(2), 347-351.

Pierce F. J. & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. In: D. Spark (Ed) Advance in Agronomy 67, Academic Press. P 1-85.

Raun, W. R., & Johnson, G. V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy journal, 91(3), 357-363.

Raun, W. R., Solie, J. B., Stone, M. L., Martin, K. L., Freeman, K. W., Mullen, R. W., ... & Johnson, G. V. (2005). Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(19-20), 2759-2781.

Raun, W. R., Solie, J. B., & Stone, M. L. (2011). Independence of yield potential and crop nitrogen response. Precision Agriculture, 12(4), 508-518.

Raun, W., Figueiredo, B., Dhillon, J., Fornah, A., Bushong, J., Zhang, H., & Taylor, R. (2017). Can yield goals be predicted?. Agronomy Journal, 109(5), 2389-2395.

Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R., Woodcock C.E., Allen R.G., Anderson M.C., Helder D., Irons J.R., Johnson D.M., Kennedy R., Scambos T.A., Schaaf C.B., Schott J.R., Sheng Y., Vermote E.F., Belward A.S., Bindschadler R., Cohen W.B., Gao F., Hipple J.D., Hostert P., Huntington J., Justice C.O., Kilic A., Kovalskyy V., Lee Z.P., Lymburner L., Masek J.G., McCorkel J., Shuai Y., Trezza R., Vogelmann J., Wynne R.H., Zhu Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research, Remote Sensing of Environment, Volume 145, Pages 154-172, ISSN 0034-4257

Scharf, P. C., Shannon, D. K., Palm, H. L., Sudduth, K. A., Drummond, S. T., Kitchen, N. R., ... & Oliveira, L. F. (2011). Sensor-based nitrogen applications out-performed producer-chosen rates for corn in on-farm demonstrations. Agronomy Journal, 103(6), 1683-1691.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos


# ACOPLADOS CONESE


Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

# DELIMITACIÓN DE ZONAS MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DE CULTIVOS DE VERANO E INVIERNO

**Hill, Santiago[1]; Kemerer, Alejandra[1, 2]; Melchiori, Ricardo[2]; Albarenque, Susana[2]**
[1]Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
[2]Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Paraná Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
Trabajo presentado al Primer Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2018)

## INTRODUCCIÓN

El manejo de la variabilidad de la producción para mejorar la eficiecia del uso de insumos es uno de los principales desafíos de la Agricultura de Precisión (McBratney y Whelan, 2000). En este sentido, la delimitación de zonas de manejo uniforme ha sido un práctica ampliamente difundida (Doerge, 1999; Guastaferro et al., 2010; Albornoz et al., 2017). Se han propuesto y evaluado diversas metodologías para la delimitacion, en muchos casos asociadas a la utilización de mapas de rendimientos (Blackmore 2000; Ping y Dobermann, 2003; Diker et al. 2004; Brock et al., 2005; Hornung et al., 2006). La posibilidad de generar zonas de manejo permite, entre otras cosas, direccionar muestreos de suelo, reduciendo la cantidad de muestras y el costo asegurando una adecuada representación de la variabilidad para planificar el manejo de nutrientes (Mallarino y Wittri, 2004; Betzek et al., 2018).

En campos que carecen de información previa, más aún en aquellos sin informacion precisa de la secuencia de cultivos anteriores, se debe recurrir a una estrategia alternativa para caracterizar la variabilidad y delimitar áreas de productividad diferencial. Los índices espectrales derivados de imágenes satelitales durante el período de máximo crecimiento del cultivo permiten identificar patrones de variabilidad similares a los obtenidos con mapas de rendimiento (Kemerer y Melchiori, 2006; Song et al., 2009), entre ellos uno de los más ampliamente utilizados es el NDVI (Rouse et al., 1973). A su vez, el historial de imágenes satelitales disponibles y su elevada frecuencia temporal permite reconstruir los ciclos de crecimiento de los cultivos, constituyendo una herramienta valiosa que puede reemplazar a la información que aportan los mapas de rendimiento.

Los cultivos más sembrados en la provincia de Entre Ríos son maíz y soja dentro de los cultivos de verano y trigo entre los de invierno, con una alta predominancia del cultivo de soja respecto a los demás (Bolsa de Cereales de Entre Ríos). Si bien la identificación de patrones de variabilidad mediante índices espectrales se ha realizado de manera exitosa para diversos cultivos en la región, en general, suele manifestarse más claramente para los cereales, asociado esto a su menor plasticidad respecto al cultivo de soja (Kemerer, 2003). La inclusión de cultivos de invierno podría entonces contribuir a una mejor discriminación de patrones de productividad diferencial respecto a los cultivos de verano donde predomina la soja.

La delimitación de zonas de manejo se realiza en general a nivel de lote (Guastaferro et al., 2010; Córdoba et al. 2013; Peralta et al., 2013; Betzek et al., 2018). Sin embargo, las zonas pueden exceder el tamaño de un lote, ya que estos no fueron delimitados según este criterio. La variabilidad inducida por el manejo aplicado a un lote combinada con otros factores como la posición en el paisaje, el tipo de suelo, el grado de erosión, entre otros, inducen patrones de variabilidad a diferente escala espacial. La posibilidad de evaluar los patrones de variabilidad a nivel de establecimiento para la delimitación de zonas de manejo permitiría reducir tiempo y trabajo de procesamiento, en especial cuando el número de lotes por establecimiento es elevado.

Los objetivos del presente trabajo son comparar: a) las zonificaciones generadas a partir de un mapa combinado de NDVI relativo a nivel de establecimiento en base a cultivos de verano vs. el obtenido combinando cultivos de verano e invierno, y b) zonificaciones generadas a partir de un mapa de NDVI relativo combinado a nivel de establecimiento y de los NDVI relativos a nivel de lote.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se realizó sobre el establecimiento “Los Tilos”, que cuenta con 400 ha, de las cuales alrededor de 300 has son de uso agrícola, divididas en 10 lotes (figura 1). El campo se encuentra ubicado sobre Ruta Nacional N°12 a 7 km de la ciudad de Nogoyá, provincia de Entre Ríos, Argentina (-32.397229°, -59.717056°).

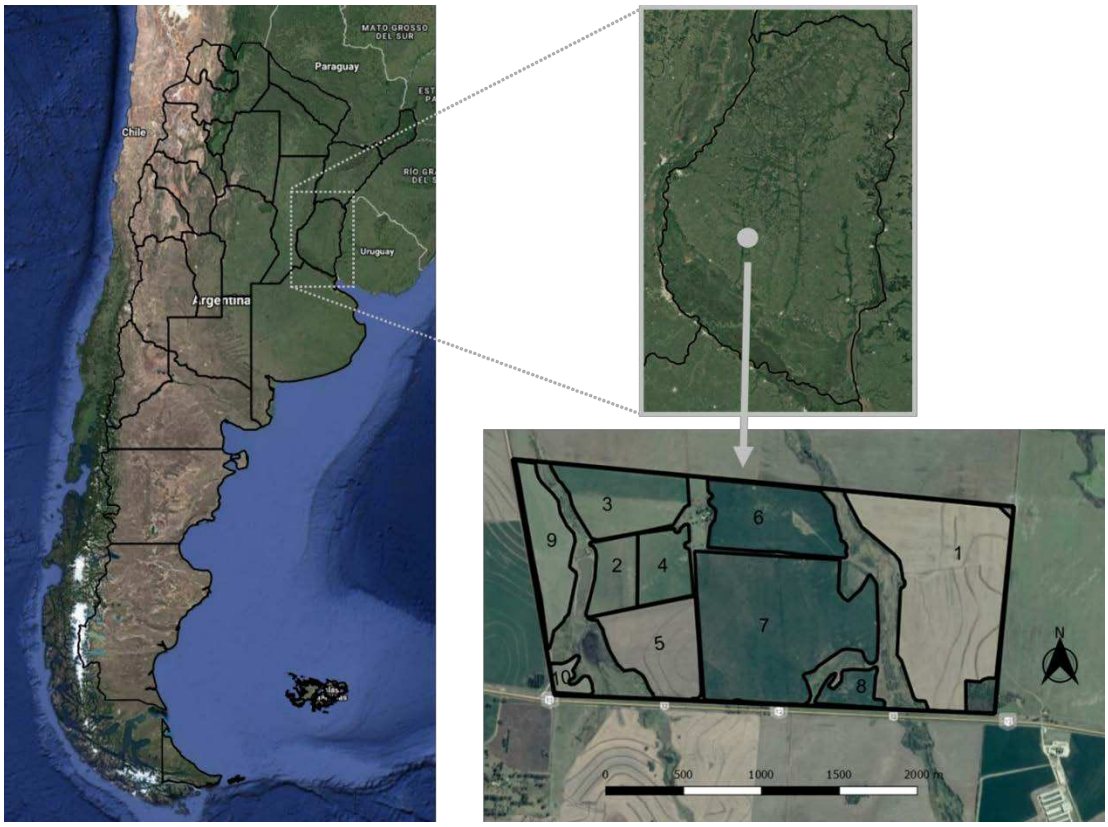



**Figura 1. Ubicación y lotes presentes en el establecimiento sitio de estudio**

Se evaluaron seis campañas agrícolas, desde 2011/2012 hasta 2016/2017. Para discriminar la presencia de cultivos de invierno y verano se evaluaron los meses comprendidos entre septiembre y abril de cada campaña a fin de identificar etapas de máximo crecimiento de los cultivos. Se utilizaron todas las imágenes disponibles sin nubes de los satélites Landsat 7 y 8 correspondientes a la escena 226/082 para el período considerado (tabla 1).

Tabla 1. Listado de imágenes Landsat correspondientes a la escena 226/083 disponibles para el periodo 2011/2012 - 2016/2017utilizadas para delimitar zonas. Los números indicados en cada columna corresponden a la fecha y entre paréntesis se indica el satélite correspondiente.

| | Ene | Feb | Mzo | Abr | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | | | 5(L8) | 22(L8) | | | | |
| 2016 | 14(L8) | 7(L7)/23(L7) | 2(L8) | | 10(L8)/26(L8) | 28(L8) | 29(L8) | 15(L8)/31(L8) |
| 2015 | 27(L8) | 12(L8)/28(L8) | 16(L8) | 1(L8) | 8(L8) | 18(L7) | 11(L8) | 13(L8) |
| 2014 | 8(L8)/16(L7) | 17(L7) | 5(L7)/13(L8) | 14(L8) | 21(L8) | 7/23(L8) | 8(L8)/24(L8) | 18(L7) |
| 2013 | 13(L7)/29(L7) | | 18(L7) | | 2(L8)/26(L7) | 28(L7) | 5(L8)/21(L8) | 23(L8) |
| 2012 | 27(L7) | 12(L7) | 31(L7) | 16(L7) | 23(L7) | 25(L7) | | 12(L7)/28(L7) |
| 2011 | | | | | 5(L7)/21(L7) | | 8(L7)/24(L7) | 10(L7)/26(L7) |

El procesamiento de las imágenes se realizó empleando el programa QGIS 2.18 “Las Palmas”. Se calculó el NDVI según la ecuación 1 propuesta por Rouse et al., (1973), mediante el plugin Vegetation Index de SAGA

disponible en la caja de herramientas de QGIS utilizando las bandas correspondientes al rojo e infrarrojo cercano de cada satélite**.**

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (1)$$

Donde: IR=reflectancia en la banda infrarroja y R=reflectancia en la banda roja.

Se evaluó la secuencia de imágenes disponibles por campaña para identificar el tipo de cultivo presente (verano e invierno) por lote. Se seleccionó la fecha donde el NDVI alcanzó los valores más elevados para cada uno de los lotes y tipo de cultivo. Se extrajeron los datos y se relativizaron respecto al valor máximo de NDVI por lote. De esta manera se obtuvieron por lote un set de datos de NDVI relativizado cuando sólo había cultivo de verano en la campaña y dos set de datos de NDVI relativizado cuando había cultivo de invierno y verano.

Los datos disponibles a nivel de lote fueron combinados para generar los siguientes set de datos a nivel de establecimiento para cada campaña:

- valores relativos de NDVI sólo considerando los cultivos de verano,
- valores relativos de NDVI de los cultivos de invierno de los lotes que los presentaban complementados con cultivos de verano en el resto de los lotes.

Los sets de datos disponibles a nivel de lote y establecimiento fueron clasificados de manera conjunta para generar las zonas de manejo empleando el programa Management Zone Analyst (MZA) v1.0 (Fridgen et al., 2004) ingresado los datos de cada campaña como una variable independiente. Se seleccionó el número de zonas óptimo sugerido por los índices de optimización del programa, denominándose a estas como de alta ($ZM_A$), media ($ZM_M$) y baja ($ZM_B$) productividad acorde a los valores decrecientes de NDVI.

Los resultados obtenidos fueron rasterizados y se compararon utilizando la herramienta “Cambio de cobertura del suelo” incluida en el pluging Semi Automatic Classification (Congedo, 2016) en QGIS.

**RESULTADOS**

El análisis de las imágenes disponibles permitió reconstruir los ciclos de crecimiento de los cultivos en cada lote y discriminar la presencia de cultivos de invierno y verano. Los valores de NDVI promedio por lote para la fecha de máximo NDVI de las campañas evaluadas variaron entre un mínimo de 0.42 y un máximo de 0.94 para los cultivos de verano y entre 0.41 y 0.96 para los cultivos de invierno.

En todos los lotes se observó la presencia de cultivos de verano en todas las campañas, excepto en el lote 10 en la campaña 2016/17, mientras que la proporción de cultivos de invierno varió entre 1 y 5 campañas (tabla 2).

Tabla 2. Tipo de cultivo por lote y campaña identificado a partir de la evolución temporal del NDVI. Valores entre paréntesis indican el promedio de NDVI por lote para la fecha de máximo NDVI identificado en cada campaña.

| Lote | Campaña | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 16/17 | 15/16 | 14/15 | 13/14 | 12/13 | 11/12 |
| 1 | V (0.55) | V (0.89) | I/V (0.57/0.62) | V (0.93) | I/V (0.77/0.87) | V (0.92) |
| 2 | V (0.64) | I/V (0.46/0.75) | V (0.80) | V (0.89) | V (0.61) | V (0.64) |
| 3 | V (0.61) | I/V (0.47/0.88) | V (0.63) | V (0.75) | V (0.80) | V (0.86) |
| 4 | V (0.61) | I/V (0.43/0.76) | V (0.77) | V (0.86) | V (0.67) | V (0.86) |
| 5 | I/V (0.52/0.60) | V (0.86) | I/V (0.45/0.63) | V (0.67) | I/V (0.96/0.93) | I/V (0.87/0.89) |
| 6 | I/V (0.54/0.60) | V (0.87) | I/V (0.50/0.62) | I/V (0.49/0.94) | I/V (0.83/0.92) | I/V (0.88/0.89) |
| 7 | I/V (0.51/0.60) | V (0.87) | I/V (0.50/0.62) | I/V (0.46/0.94) | V (0.90) | I/V (0.88) 0.85) |
| 8 | I/V (0.45/0.42) | V (0.82) | I/V (0.44/0.60) | I/V (0.41/0.90) | V (0.81) | (0.79) I/V (0.78) |
| 9 | I/V (0.58/0.59) | I/V (0.48/0.89) | V (0.64) | V (0.85) | I/V (0.79/0.92) | (0.84) I/V (0.79) |
| 10 | I (0.59) | I/V (0.41/0.79) | V (0.62) | V (0.82) | I/V (0.74/0.89) | (0.87) I/V (0.87) |

Las clasificaciones de los valores de NDVI relativos generada a nivel de establecimiento considerando sólo cultivos de verano o la combinación de cultivos de verano e invierno, diferenciaron los patrones de variabilidad más evidentes, delimitando en ambos casos tres zonas de productividad diferente: alta, media y baja (figura 2).

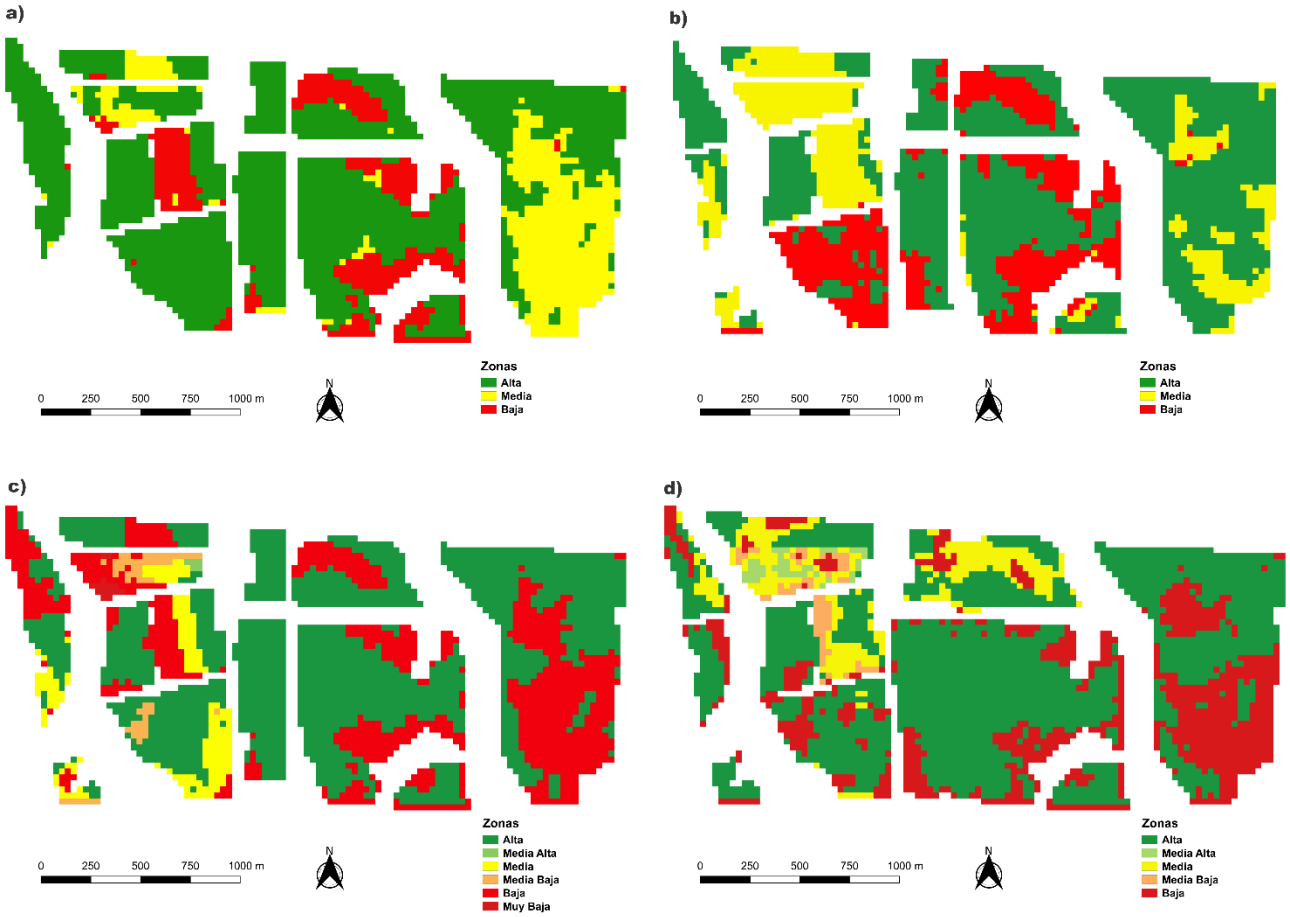



Figura 2. Zonas de manejo delimitadas a partir de valores de NDVI relativo a) a nivel de establecimiento considerando cultivos de verano, b) a nivel de establecimiento considerando cultivos de verano e invierno, c) a nivel de lote considerando cultivos verano, y d) a nivel de lote considerando cultivos de invierno.

La inclusión de cultivos de invierno en la clasificación a nivel de establecimiento generó una variación del 34% en las zonas delimitadas respecto a la clasificación a partir de cultivos de verano. La zona más estable fue la de alta productividad, que mostró un 81% de coincidencia, mientras que las de media y baja productividad coincidieron en un 46 y 41%, respectivamente. Los mayores cambios, 57% de diferencia, se observaron en la zona de baja productividad para cultivos de verano e invierno que se clasificaron como de alta productividad cuando se analizaron sólo cultivos de verano (tabla 3).

Tabla 3. Comparación de las zonificaciones establecidas a partir de valores de NDVI relativo a nivel de establecimiento para cultivos de invierno y verano combinados vs. cultivos de verano. Valores por fila corresponden al porcentaje de píxeles asignados por zona.

| Zonas clasificadas según cultivos de invierno y verano | Zonas clasificadas según cultivos de verano | | |
|---|---|---|---|
| | $ZM_A$ (%) | $ZM_M$ (%) | $ZM_B$ (%) |
| $ZM_A$ | 81 | 17 | 2 |
| $ZM_M$ | 35 | 46 | 19 |
| $ZM_B$ | 57 | 3 | 41 |

La clasificación a nivel de lote de datos de NDVI normalizados diferenció un número mayor de zonas respecto a la clasificación a nivel de establecimiento. Se diferenciaron cinco zonas cuando se analizaron sólo cultivos de invierno y seis cuando se analizaron sólo cultivos de verano, agregándose niveles intermedios a los de alta, media y baja productividad. La discriminación en un número mayor de zonas no representó un aporte significativo, ya que la proporción de datos incluidos en las zonas intermedias (zonas media-alta ($ZM_{MA}$, media-baja $ZM_{MB}$ y muy baja ZM-$_{BB}$) fue sólo el 3% (figura 2).

De manera similar a lo observado en la comparación a nivel de establecimiento, la zona de alta productividad determinada en la clasificación a nivel de lote para cultivos de invierno y de verano coincidió en un 80% con la zona de alta productividad de cultivos de invierno y verano combinados clasificados a nivel de establecimiento (tabla 4).

La zona de baja productividad de las clasificaciones realizadas a nivel de lote, tanto para cultivos de invierno como de verano, coincidió en un 40% con la zona de baja productividad generada a nivel de establecimiento para cultivos de invierno y verano. Las diferencias se observaron principalmente en la zona de alta productividad, en una proporción similar (tabla 4).

La zona con menor coincidencia fue la de productividad media, donde el 23% de los datos clasificados a nivel de lote de cultivos de invierno y el 15% de los datos de cultivos de verano concordaron con la clasificación de cultivos de verano e invierno obtenida a nivel de establecimiento. Las principales diferencias se observaron en píxeles asignados a la clase baja cuando la clasificación se realizó a nivel de lote y fue mayor cuando sólo se utilizaron cultivos de verano (56% vs 37% para cultivos de verano e invierno).

Tabla 4. Comparación de las zonificaciones establecidas a partir de valores de NDVI relativo a nivel de establecimiento para cultivos de invierno y verano combinados vs. zonificaciones establecidas a partir de valores de NDVI relativo a nivel de lote para cultivos de invierno y verano. Valores por fila corresponden al porcentaje de píxeles por zona.

| Zonas clasificadas según cultivos de invierno y verano a nivel de establecimiento | Zonas clasificadas a nivel de lote | | |
|---|---|---|---|
| | Zonas | Según cultivos de Invierno (%) | Según cultivos de Verano (%) |
| $ZM_A$ | $ZM_A$ | 80 | 79 |
| | $ZM_{MA}$ | 0.1 | 0.1 |
| | $ZM_M$ | 4 | 1 |
| | $ZM_{MB}$ | 0 | 0.06 |
| | $ZM_B$ | 16 | 19 |
| | $ZM_{BB}$ | - | 0 |
| $ZM_M$ | $ZM_A$ | 25 | 21 |
| | $ZM_{MA}$ | 5 | 1 |
| | $ZM_M$ | 23 | 15 |
| | $ZM_{MB}$ | 10 | 6 |
| | $ZM_B$ | 37 | 56 |
| | $ZM_{BB}$ | - | 2 |
| $ZM_B$ | $ZM_A$ | 44 | 46 |
| | $ZM_{MA}$ | 0 | 0 |
| | $ZM_M$ | 13 | 9 |
| | $ZM_{MB}$ | 0 | 4 |
| | $ZM_B$ | 43 | 41 |
| | $ZM_{BB}$ | - | 0 |

**DISCUSIÓN**

El criterio utilizado para la selección de las fechas de las imágenes a clasificar, analizando el ciclo de crecimiento y seleccionando la fecha de máximo NDVI disponible y no seleccionando la fecha centrada en una ventana temporal acotada, permitió contar siempre con información para la clasificación. Este criterio representa una ventaja en esta región, caracterizada por un régimen pluviométrico isohigro, que puede

generar condiciones de nubosidad durante todo el año, con amplias variaciones, condicionando la obtención de imágenes libres de nubes para períodos de tiempo acotados.
La dominancia observada en cultivos de verano generó pocas diferencias en los resultados de la zonificación. La inclusión de cultivos de invierno clasificó una mayor proporción de datos en la zona baja productividad, lo que podría traducirse en una menor asignación de insumos en esas áreas. Sin embargo, la superficie del establecimiento asignada a la zona de alta productividad es la que representa la mayor proporción de la superficie total del establecimiento, por lo tanto, los cambios observados en la clasificación desde las zonas de media y baja productividad resultan de escasa importancia.
La clasificación a nivel de establecimiento permitió discriminar un menor número de zonas, lo que representa una ventaja desde el punto de vista operativo del manejo del establecimiento. La mayor cantidad de datos incluidos en el análisis presentó una distribución más similar a una distribución normal y podría asociarse a una mejor discriminación de las clases respecto a lo observado en el análisis a nivel de lote, donde la escasa cantidad de datos evidencia distribuciones más alejadas de la normal. Asimismo, desde un punto de vista práctico, la clasificación a nivel de establecimiento implicó un esfuerzo y tiempo de procesamiento considerablemente inferior respecto al análisis a nivel de lote.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

La inclusión de cultivos de invierno en la zonificación no generó diferencias respecto a la utilización sólo de cultivos de verano, al menos para la mayor proporción del área del establecimiento.
El análisis individual por lote generó zonas adicionales y más variables según los cultivos analizados menos útiles al manejo general de un campo respecto al análisis realizado a nivel de establecimiento.
Se observó que las zonas de alta productividad presentaron patrones estables, independientemente de los cultivos y del procesamiento realizado.
La zonificación a nivel de establecimiento del NDVI relativo de cultivos de verano implicó menor tiempo y esfuerzo de procesamiento con resultados similares a las otras aproximaciones evaluadas.
A partir de los resultados obtenidos se sugiere validar las zonas delimitadas empleando otras herramientas como mapas de rendimiento, como así también evaluar la estabilidad de las zonas delimitadas utilizando menor cantidad de campañas

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los propietarios y al ingeniero agrónomo a cargo del manejo del establecimiento por brindarnos la información necesaria. Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto PNAIyAV-1130023: “Tecnologías de agricultura de precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria” de INTA.

## REFERENCIAS

Albornoz. E.. Kemerer. A.. Galarza. R.. Mastaglia. N.. Melchiori. R. & Martínez. C. (2017). Development and evaluation of an automatic software for management zone delineation. *Precision Agriculture.* doi: 10.1007/s11119-017-9530-9

Betzek. N. M.. Godoy de Souza. E.. Bazzi. C. L.. Schenatto. K. & Gavioli. A. (2018). Rectification methods for optimization of management zones. *Precision Agriculture.* doi: *10.1016/j.compag.2018.01.014*

Blackmore. B. S. (2000). The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and Electronics in Agriculture*. 26. 37–51.

Bolsa de Cereales de Entre Ríos. http://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/estadisticas.php

Brock. A.. Brouder. S. M.. Blumhoff. G. & Hofmann B. S. (2005). Defining Yield-Based Management Zones for Corn–Soybean Rotations. *Agronomy Journal*. 97:1115–1128.

Congedo. L.. (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation, doi: 10.13140/RG.2.2.29474.02242/1

Córdoba. M.. Bruno. C.. Costa. J. & Balzarini. M. (2013). Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. *Computers and Electronics in Agriculture.* doi:10.1016/j.compag.2013.05.009

Diker. K.. Heermann. D. F.. & Brodahl, M. K. (2004). Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. *Precision Agriculture*. 5. 435–444.

Doerge T. A. (1999). Management zone concepts. SSMG-2. Site Specific Management Guidelines Series (pp. 1-4). IPNI http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/C0D052F04A53E0BF852579E500761AE3/$FILE/SSMG-02.pdf

Fridgen. J. J.. Kitchen. N. R.. Sudduth. K. A.. Drummond. S.T.. Wiebold. W.J.. & Fraisse. C. W. (2004). Management Zone Analyst (MZA): Software for Subfield Management Zone Delineation. *Agronomy Journal*. 96.100–108.

Guastaferro. F.. Castrignanò. A.. De Benedetto. D.. Sollitto. D.. Troccoli. A. & Cafarelli. B. (2010). A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. *Precision Agriculture*. doi: 10.1007/s11119-010-9183-4

Hornung. A.. Khosla. R.. Reich R.. Inman D.. & Westfall D. G. (2006) Comparison of Site-Specific Management Zones: Soil-Color-Based and Yield-Based. *Agronomy Journal*. 98.407–415.

Kemerer. A. (2003). Utilización de imágenes satelitales en agricultura de precisión para delimitar zonas de manejo uniforme. Trabajo final de graduación. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos.

Kemerer. A. & Melchiori. R. (2006). Delimitación de zonas de manejo en agricultura de precisión. En: O.P. Caviglia. O.F. Paparotti. & M.C Sasal (Eds). Agricultura sustentable en Entre Ríos (pp. 201-204). ISBN: 978-987-521-253-4.

Mallarino. A.P. & Wittry. D.J. (2004). Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agriculture*. doi: 10.1023/B:PRAG.0000022358.24102.1b.

Peralta. N.R.. Costa. J.L.. Balzarini. M.. & Angelini. H. (2013). Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. *Canadian Journal of Soil Science*. doi: 10.4141/cjss2012-022

Ping. J. L. & Dobermann. A. (2003). Creating Spatially Contiguous Yield Classes for Site-Specific Management. *Agronomy Journal*. 95.1121–1131.

QGIS Development Team (2017). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org.

Rouse. J.W.. Haas. R.H.. Schell. J.A. & Deerin. D.W. (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. N. SP-351. Ed Third ERTS Symposium. 1.309-317. Washington. NASA. https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf

Song. X.. Wang. J.. Huang. W.. Liu. L.. Yan. G. & Pu. R. (2009). The delineation of agricultural management zones with high resolution remotely sensed data. *Precision Agriculture*. doi: 10.1007/s11119-009-9108-2

Whelan B. M. & McBratney A. B. (2000). The ‘‘Null Hypothesis’’ of Precision Agriculture Management. *Precision Agriculture*. 2. 265-279.

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

# Asociación Cooperadora

# INTA - E.E.A. Manfredi

INTA Secretaría de Agroindustria

Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | **INTA Agroindustria**

# "Evaluación de Imágenes Multiespectrales Aéreas y Satelitales de alta Definición para la Cuantificación de Biomasa de Maíz (Zea mais L.) para Bioenergía"

**F. Scaramuzza; D. Villarroel; J.P. Vélez; D. Mathier; N. Sosa**

scaramuzza.fernando@inta.gob.ar; villarroel.diego@inta.gob.ar; velez.juanpablo@inta.gob.ar; mathier.diego@inta.gob.ar; sosa.nicolas@inta.gob.ar. - INTA EEA Manfredi, Córdoba. Proyecto Específico Tecnologías de Agricultura de Precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria.

**Trabajo presentado al Primer Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2018) - 11 al 13 de abril 2018 - Santiago, Chile**

***RESUMEN.***

*La teledetección desde plataformas aéreas o satelitales es considerada una fuente importante de información para la toma de decisiones en el manejo de los cultivos; en la última década con el desarrollo de la telefonía celular se lograron componentes que hoy permiten la fabricación de plataformas y sensores de menor tamaño, pero a su vez más potentes. Vehículos aéreos no tripulados (UAV), satélites como Rapid Eye y Sentinell, nanosatélites como Planet Scope están evolucionando continuamente en términos de practicidad, resolución espacial y temporal, mejorando así su versatilidad para aplicaciones agrícolas con bajos costos de operación.*

*El procesamiento y la correcta combinación de la información relevada con esta tecnología, también ha sido objeto de investigación sobre qué fracción del espectro electromagnético o cuales índices producto de su combinación se adapta a determinados escenarios y/o posee mayor capacidad de detección de determinadas variables.*

*El objetivo de este estudio fue evaluar las capacidades potenciales y limitaciones de los datos obtenidos mediante satélites Sentinell, Rapid Eye y Planet Scope y UAV´s para predecir cantidad de biomasa de un lote de maíz (Zea mays L.) previo a la cosecha con destino a la generación de bioenergía. Los resultados demostraron claramente la importancia que tiene la alta frecuencia de visitas de cualquier plataforma para monitorear cultivos agrícolas.*

*Usando un modelo lineal simple, la mejor correlación se lograron desde los dos meses antes de la cosecha, puntualmente con el índice GNDVI se obtuvieron correlaciones de 0,76, 0.75 y 0.71 con UAV, Planet Scope y Sentinel respectivamente.*

*Si bien merece seguir con las evaluaciones y repetirlo en años subsecuentes estos análisis preliminares comienzan a evidenciar que la selección de una u otra herramientas tiene que ver mas con los aspectos operativos y económicos que con lo técnico.*

*El resumen es a menudo la única parte del artículo a ser leída, así que incluya sus principales hallazgos de manera simple y concisa. Incluya una definición del problema u oportunidad, objetivos, un breve resumen de los métodos, resultados cuantitativos y la importancia de sus resultados. El resumen no debe contener más de 350 palabras.*

***Palabras clave.*** *índices de vegetación, sensoramiento remoto, maíz, satélite, nanosatelite, UAV.*

**INTRODUCCIÓN**

La teledetección desde plataformas aéreas o satelitales es considerada una fuente importante de información para la toma de decisiones en el manejo de los cultivos; en la última década con el desarrollo de la telefonía celular se lograron componentes que hoy permiten la fabricación de plataformas y sensores de menor tamaño, pero a su vez más potentes.

Actualmente los vehículos aéreos no tripulados (UAV) se encuentran entre las tecnologías que más se ha desarrollado para teledetección de áreas vegetales tanto en la fruticultura (Salamí et al. 2014; Zarco-Tejada, 2012; Primicerio et al. 2012], como en la agricultura (Peng et al. 2011) demostrando una alta flexibilidad de uso, bajos costos de operación y muy alta resolución espacial (Torres-Sánchez et al., 2013).

Paralelamente, las tecnologías tradicionales de teledetección basadas en satélites como Rapid Eyes, Sentinell, y constelaciones de Nanosatélites como Planet Scope, están mejorando continuamente en términos de resolución espacial y temporal, incrementando así su versatilidad para aplicaciones agrícolas.

Las técnicas de sensoramiento remoto han sido usadas para identificar varias formas de estrés de cultivo, particularmente, la detección de estrés por falta de nitrógeno en varios cultivos y condiciones (Fouche,1999; Bausch et al. 2010; Jia et al., 2011).

Por otra parte, la combinación de bandas también ha sido temáticas de investigaciones acerca cuál índice es el que mejor, cuál se adapta a determinados escenarios o cuál posee mayor capacidad de detección de determinadas variables (Kemerer et al., 2007; Gitelson et al. 2005; Vina et al., 2011).

Tanto los UAV como los satélites tienen ventajas y desventajas que implican factores tecnológicos, operativos y económicos. El relevamiento por satélite puede asignar grandes áreas al mismo tiempo, pero pueden sufrir de cobertura de nubes y de restricciones en relacionar la sincronización de imágenes a fases fenológicas específicas debido a las adquisiciones de temporización fija.

Los UAV son adecuados para aplicaciones de pequeña escala y de investigación, mientras que su capacidad de carga útil limitada y su corta autonomía de vuelo siguen siendo un punto débil para su implementación en grandes e inaccesibles extensiones. Estos factores plantean un "dilema de escala", haciendo que la identificación de la tecnología más efectiva sea estrictamente dependiente de la escala espacial y el propósito de su uso. Por lo tanto, es necesaria, una mejor evaluación de los resultados técnicos, científicos y económicos de las diferentes plataformas de teledetección.

El objetivo de este estudio es obtener imágenes multiespectrales simultáneas o cuasi-simultáneas de UAV e imágenes satelitales de alta definición, a lo largo del ciclo del cultivo de maíz, para evaluar la capacidad de cada sistema de representar los patrones de vegetación intra-lote, para evaluar las similitudes de las imágenes tomadas a diferentes resoluciones espaciales y realizar una evaluación de ventajas y desventajas de factores operativos.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Evaluar las diferentes plataformas en cuanto a frecuencia (cantidad y distribución) de secuencias se obtienen a lo largo del ciclo del cultivo.
- En cada una de las plataformas, determinar con cuánto tiempo de anticipación es posible la predicción de rendimiento y con qué exactitud.
- Comparar las bandas espectrales de las diferentes plataformas y los principales índices producto de sus combinaciones.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

*Sitio de experimento*

El estudio se llevó a partir de unas imágenes tomadas en un lote en el cual se evaluaba un ensayo de curva de repuesta a la fertilización nitrogenada en un cultivo de maíz. El lote está ubicados en la Provincia de Córdoba – Argentina, dentro de lo que se considera como la Región Semiárida Central de la Provincia de Córdoba en donde la precipitación anual media es de 740mm de las cuales el 75% ocurren en el semestre más caluroso. Los suelos de los lotes pertenecen al complejo de series Manfredi (30%) con capacidad de uso IIIc, Manfredi en fase moderadamente alcalina en profundidad (25%), Oliva (25%) y suelos con alcalinidad sódica subsuperficial (20 %) con una capacidad de uso: IV ws (limitaciones de drenaje y sodio) y al complejo indeterminado Pampayasta y de suelos fluviales arenosos de albardones y paleocauces con una capacidad de uso: VI sc. (limitaciones de suelo por el sodio y climáticas).

*Determinaciones*

•Determinación destructiva en madurez fisiológica (3 meses después de la siembra) mediante muestreo georreferenciado para cálculo de biomasa.

•Seguimiento con plataformas satelitales y UAV del cultivo desde siembra hasta cosecha.

*Plataformas de sensoramiento remoto a evaluar*

Las características más destacadas se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1: Características Principales de las Plataformas analizadas.**

| | UAV | SATELLITE | | |
|---|---|---|---|---|
| **Proveedor** | Foto aérea Micasense | Planet Lab | | Agencia Espacial Europea |
| **Plataforma** | Asesor 5 | Planet Scope | RapidEye | Sentinell |
| **Cámara** | MicaSense | Bayer Masked | Pushbroom sensor | Multi-Spectral Imager |
| | | | | |
| **Bandas Espectrales** | 455-495 nm | 590 - 670 nm) | 440-510 nm | 13 Spectral Bands (443-2190nm) with visible and Near-Infrared bands (10m), red edge and shortwave infrared bands (20m). |
| | 540-580 nm | 500 - 590 nm | 520-590 nm | |
| | 658-678 nm | 455 - 515 nm | 630-685 nm | |
| | 707-727 nm | - | 690-730 nm | |
| | 840-840 nm | 780-860 nm. | 760-850 nm | |
| **Dimensión** | 12,1 x 6,6 x 4,6 (cm) | 10x10x30 (cm) | 65.6 × 36.1 × 82.4 (cm) | 340 × 180 × 235 (cm) |
| **Peso** | 0.180 kg | 1 kg | 62 kg | 1140 kg |
| **Longitud Focal** | | 1140 mm | 633 mm | 600 mm |
| **FOV** | 47,2º | | 15.7° × 10.5° | 21 degrees by 3.5 degrees |
| **Datos de Salidas** | 10 bit RAW | 12-bit NITF | 16 bit NITF | 8 bit JPEG |
| **Altura de Plataforma** | 120 m | 475 km | 630 km | 786 km |
| **Velocidad de Vuelo** | 50 km/h | - | - | - |
| **Constelación** | - | 120 | 5 | 2 |
| **Resolución Sobre la tierra** | 8 cm/pixel a 120 de altura de vuelo (AGL). | 3.7 m | 5 m | 10 m, 20 m y 60 m |
| **Revisita** | Relativo | 1 día | 5 Días | 10 días (se reducirá a 5 con el lanzamiento del Sentinel-2B) |
| **Cobertura Diaria** | Relativo | 6M km2 dia | 150 M km2 dia | |
| **Dimensión de Imágen** | Relativo | 77 × 45 km | 25 x 25 km | 110 x 110km |

*Análisis de datos*

El análisis se resume en 4 procesos consecutivos, diferentes por su naturaleza, pero correlativos:

- Pre procesos de ortorectificación.

La ortofotografía es una presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico.

Una ortofotografía se consigue mediante un conjunto de imágenes aéreas (tomadas desde un avión o satélite) que han sido corregidas para representar una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva, y en la que por lo tanto es posible realizar mediciones exactas, al contrario que sobre una fotografía aérea simple, que siempre presentará deformaciones causadas por la perspectiva desde la cámara, la altura o la velocidad a la que se mueve la cámara. A este proceso de corrección digital se le llama ortorectificación. Por lo tanto, una ortofotografía (u ortofoto) combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano.

- Procesamiento en software GIS para cálculo de los índices espectrales y generación de planilla general con índices espectrales y datos de biomasa. Los índices calculados son los siguientes:

$\mathrm{NDVI} = \mathrm{NIR} - \mathrm{Red} / \mathrm{NIR} + \mathrm{Red}$ (Ritchie y Bednarz, 2005)

$\mathrm{GNDVI} = \mathrm{NIR} - \mathrm{Red} / \mathrm{NIR} + \mathrm{Red}$ (Gitelson et al., 1996)

$\mathrm{CIGreen} = (\mathrm{NIR} / \mathrm{Green}) - 1$ (Gitelson et al., 2003a)

Donde: NDVI= Índice Diferencial de Vegetación Normalizado, NIR= región espectral del infrarrojo cercano, GNDVI= Índice de Vegetación Diferenciada Normalizada Verde, ClGreen=

La planilla se confecciona mediante función de estadística de la zona del software GIS, en donde una grilla vectorial recibe el dato promedio de los valores de las diferentes fuentes de información y con diferentes tamaños de pixel.

- Análisis Estadístico.

Para determinar con cuánto tiempo de anticipación es posible la predicción de rendimiento y con qué exactitud se realizó una regresión lineal simple utilizando como variable regresora los índices espectrales y como variable dependiente el rendimiento de biomasa. La regresión se llevó a cabo para cada uno de los índices y de cada una de las fechas en las que se tomaron las imágenes con las plataformas Planet Scope, Sentinel, Rapid Eye y para plataforma UAV para calcular el R2. Se seleccionó una secuencia cuasi simultánea y de cada una de las plataformas para comparar su comportamiento.

**RESULTADOS**

Las imágenes obtenidas mediante diferentes plataformas analizadas a simple vista mostraban diferente comportamiento de biomasa en repuesta a la dosis de nitrógeno, que consistían en franjas direccionadas norte-sur como se observa en la Figura 1.

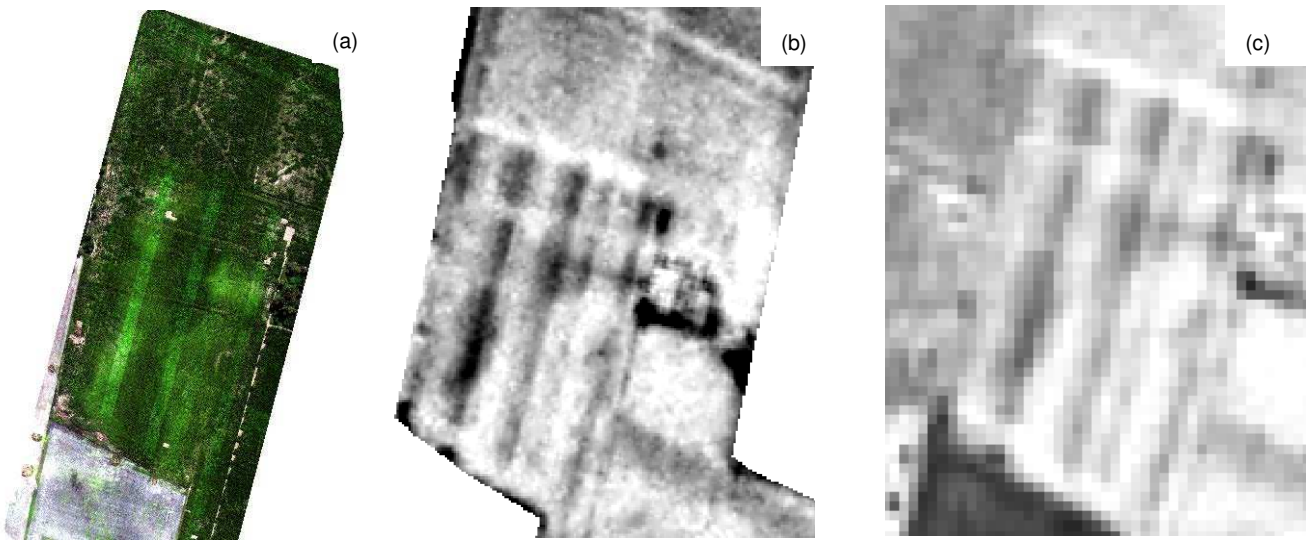



**Figura 1: Imagen obtenida con UAV (a), con Planet Scope (b) y con Sentinel (c).**

Mediante herramientas de agricultura de precisión se comprobó que el lote poseía dos zonas diferenciadas por su potencial de producción: alto potencial de rendimiento (AP) y bajo potencial de rendimiento (BP), el análisis de la correlación por zonas separadas arrojo comportamientos predictivos de biomasa diferentes entre las imágenes multiespectrales analizadas (Gráfico 1).
El seguimiento realizado con Nanosatélites Planet Scop permitió un monitoreo más continuo a lo largo del ciclo biológico del cultivo.

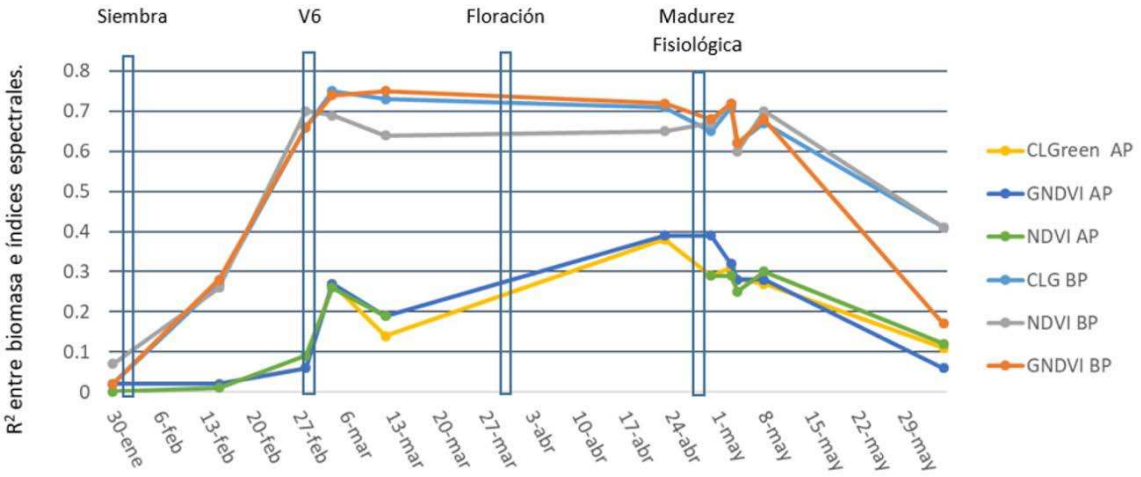



**Gráfico 1: Correlación de los diferentes índices de Nanosatélites con rendimiento de Maíz a lo largo del desarrollo fenológico diferenciados por zonas de manejo.**

Se extrajo para comparación una secuencia de cada una de las plataformas, las mismas eran cuasi simultáneas siendo la imagen con UAV tomada el 14 de marzo, la imagen tomada con Planet Scop el 13 de marzo y la imagen Sentinel tomada el 20 de marzo (Gráfico 2).

| | CLG Sentinel | CLG Dron | CLG Nanosat | GNDVI Sentinel | GNDVI Dron | GNDVI Nanosat | NDVI Sentinel | NDVI1 Dron | NDVI Nanosat |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bajo potencial | 0,41 | 0,77 | 0,73 | 0,71 | 0,76 | 0,75 | 0,31 | 0,69 | 0,64 |
| Alto potencial | 0,23 | 0,15 | 0,14 | 0,21 | 0,17 | 0,19 | 0,02 | 0,03 | 0,19 |

**Gráfico 2: Correlación de los diferentes índices y de diferentes plataformas, de secuencias cuasi simultáneas con rendimiento de cultivo de Maíz, diferenciado por zonas de manejo.**

La zona BP fue en donde se observó mayor correlación entre índices y biomasa, debido principalmente a la mayor repuesta a la fertilización nitrogenada produciendo mayor variabilidad en los datos.
Ante la misma metodología de análisis los R2 no difirieron demasiado entre CLG y GNDVI de dron y Nanosatélites mientras que la mejor predicción con Sentinel se obtuvo con GNDVI siendo muy similares al de Dron y Nanosatélites.

**CONCLUSIONES**

Si bien no se han alcanzado valores de $R^2$ altos, esto puede ser debido a la combinación de datos con diferentes resoluciones de pixel nativas, por lo que en el criterio de fusión de datos para la planilla debe ser analizadas con más detalles.
La ventaja técnica comparativa la lleva el satélite Planet Scope por su alta resolución y revisita, no obstante, en cuanto a el factor económico, merece un mejor análisis.

**AGRADECIMIENTOS**

A la empresa Frontec S.A. que es una plataforma tecnológica que combina los avances de la ciencia aeroespacial, informática y agronómica para ofrecer soluciones innovadoras y sustentables a toda la cadena de valor frente a los nuevos desafíos de la producción de alimentos, quien nos cedió las imágenes Planet Scop y Sentinel.
Se agradece al Sr. Simón Tomatis, prestador de servicios con tecnología UAV, quien nos cedió y nos acompañó con la captura de imágenes UAV en el ciclo del cultivo.

## REFERENCIAS


Aramburu, F.; Monzon, J.P.; Mercau J. L.; Taboada M.; Andrade F.H.; Hall A.J.; Jobbagy E.; Cassman K.G.; Grassini P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. sciencedirect, (184), 145-454,

Bausch W.C., Khosla R. (2010). QuickBird satellite versus ground-based multi-spectral data for estimating nitrogen status of irrigated maize. Precision Agriculture 11, 274–290.

Fouche, P. S. (1999). Detecting nitrogen deficiency on irrigated cash crops using remote sensing methods, South African Journal of Plant and Soil, 16:2, 59-63, DOI:10.1080/02571862.1999.10634847

Gitelson, A.; Kaufman, Y.; Merzylak, M. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, Remote Sensing of Environment, 58: 289-298

Gitelson, A. A., Viña, A., Ciganda, V., Rundquist, D. C., & Arkebauer, T. J. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. Geophysical Research Letters, 32, L08403, doi:10.1029/2005GL022688

Gitelson, A. A., Gritz, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. Journal of Plant Physiology, 160, 271–282

Jia L., Yu Z., Li F., Gnyp M., Koppe W., Bareth G., Miao Y., Chen X., Zhang F. (2011). Nitrogen status estimation of winter wheat by using an Ikonos satellite image in the north china plain. Computer and computing technologis in agriculture V. 5 th IFIP TC5/SIG 5,1 Conference, CCTA 2011 Beijing, Cina, October 2011 Proceedings, Part II

Kemerer, A.; Di Bella, C.; Melchiori, R.; Benench, A.; Alvarez, R.(2007). Comparación de índices espectrales para la predicción del IAF en campos de maíz. Congreso de teledetección: hacía mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Asociación Española Teledetección.

K van Ittersum, M.; Grassini, P. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance—a review. Field Crops Research, 153, 4-17.

Peng, Y., Gitelson, A., Keydan, G., Rundquist, D., & Moses, W. (2011). Remote estimation of gross primary production in maize and support for a new paradigm based on total crop chlorophyll content. Remote Sensing of Environment, 115, 978–989.

Primicerio, J.; Di Gennaro, S.F.; Fiorillo, E.; Genesio, L.; Lugato, E.; Matese, A.; Vaccari, F.P. (2012).A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. Precis. Agric., 13, 517–523.

Ritchie, G.; Bednarz, C. (2005). Estimating defoliation of two distinct cotton types using reflectance data. J. Cotton Science. 9: 182-188

Salamí, E.; Barrado, C.; Pastor, E. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. Remote Sens. 6, 11051–11081.

Torres-Sánchez J.; Peña-Barragán, J.M.; De Castro-Megías, A.I.; F. López-Granados Instituto de Agricultura Sostenible (IAS-CSIC) "Seguimiento multi-temporal de trigo para la detección de malas hierbas en imágenes tomadas desde un vehículo aéreo no tripulado (UAV)" XV Congreso de la Asociación Española de Teledetección INTA, Torrejón deArdoz (Madrid). (22-24 octubre, 2013).

Zarco-Tejada, P.J.; González-Dugo, V.; Berni, J.A.J. (2012). Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. Remote Sens. Environ. 117, 322–337.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

ECONOVO
DIVISIÓN AGROVIAL

FARMTRAC

Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# METODOS DE DELIMITACION DE ZONAS DE MANEJO USANDO VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE RENDIMIENTO Y MARGEN BRUTO

**M. Laner[1], S. Albarenque[2], A. Kemerer[1, 2], R. Melchiori[1]**
[1]Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
[2]INTA EEA Paraná, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
Trabajo presentado al Primer Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2018)

## INTRODUCCIÓN

Las fuentes de información utilizadas para el estudio de la variabilidad y la delimitación de zonas de manejo incluyen propiedades del suelo (Kitchen et al., 2005), imágenes satelitales (Schepers, 2001) y mapas de rendimiento (Kleinjan et al., 1999). Las zonas de manejo (ZM) se definen como subregiones dentro de los campos donde se expresa una combinación homogénea de factores determinantes del rendimiento y para las cuales es apropiada una determinada combinación de insumos (Doerge, 1999).

Los métodos de análisis para discriminar zonas pueden ser sencillos como la separación de clases de productividad en mapas de rendimientos mediante el uso del método de cortes naturales (Diker et al., 2004), hasta técnicas estadísticas y/o algoritmos sofisticados como utilizan Tisseyre y McBratney (2008); Guastaferro et al., (2010) o Roudier et al., (2011). Asimismo, existen programas específicos para la delimitación de ZM, como el Management Zone Analyst (MZA) v1.0 (Fridgen et al., 2004), que permiten realizar clasificaciones utilizando información de múltiples variables.

La estabilidad espacio-temporal de la producción ha sido considerada tempranamente en trabajos de delimitación de zonas (Blackmore, 2000), sin embargo este criterio no se ha empleado hasta el presente en la valoración del beneficio económico de los cultivos. Es un aspecto muy relevante para la toma de decisiones de manejo, y ha sido explicitada como criterio que sustenta decisiones de cambio en la agricultura de precisión por Whelan y McBratney (2000). En este sentido, a la variabilidad interanual de los cultivos en la agricultura en la región Pampeana Argentina, puede agregarse otro aspecto poco explorado como es la variabilidad interanual en los precios de granos e insumos que alteran fuertemente la rentabilidad de los cultivos, y condicionan la toma de decisiones en el manejo de los cultivos.

La metodología propuesta por Blackmore (2000), establece criterios rígidos para considerar el comportamiento de la productividad de los cultivos como estable o inestable. El uso de un valor coeficiente de variación del rendimiento fijo para establecer este límite de manera arbitraria es una metodología solo aplicable al caso de estudio reportado, dado que cada sitio y ambiente confiere características de variabilidad diferencial. Por tal motivo, Basso et al (2012), proponen la clasificación no supervisada del CV del rendimiento para remover la limitación del método. Por otra parte, Melchiori y Albarenque (2012), propusieron un método basado en establecer umbrales de corte para las clases o zonas estables e inestables en base al análisis de la distribución de frecuencia del CV interanual del rendimiento. Esta propuesta propone establecer un valor de variabilidad (CV) que delimita clases estables e inestables en valores de CV mayor al valor que se delimita el 25% superior de la distribución de frecuencias acumuladas. Este método, resulta generalizable, y puede ser aplicado para establecer condiciones de estabilidad o inestabilidad en cualquier caso y variable.

De manera menos difundida también se han considerado criterios económicos para la delimitación de ambientes (Massey et al., 2008), refiriéndose por lo general a la comparación de los resultados de manejo uniforme en contraste con manejo por sitio especifico (Swinton y Lowenberg-DeBoer, 1999). Massey et al. (2008) estimaron la variabilidad del beneficio económico y clasificaron zonas donde se cubren aditivamente los costos de la tierra, los costos variables y los costos de la maquinaria, y no según la magnitud del beneficio.

La variabilidad temporal puede evaluarse usando mapas multianuales (Kitchen et al., 2005), pero para ello es necesario la normalización de los datos lo que no permite identificar a los productores oportunidades económicas. Transformar los datos de rendimiento a alguna variable económica permite combinar varios

años de datos de diferentes cultivos, evaluando el sistema de cultivo como un todo (Massey et al., 2008). Este aspecto fue considerado por Melchiori y Albarenque (2012), quienes compararon la delimitación de ambientes según criterios de estabilidad e inestabilidad espacio temporal del rendimiento y el beneficio económico obtenido.

Los antecedentes descriptos evidencian que es relevante verificar la utilidad del empleo de la metodología propuesta por Melchiori y Albarenque (2012), debido a que la delimitación de zonas según criterios de variabilidad espacio temporal del rendimiento no optimiza el beneficio económico de los cultivos, y que estos dependen, del sitio y secuencia de cultivos

Los objetivos planteados para el presente trabajo fueron: i) delimitar ZM a partir mapas de rendimiento promedio multianuales usando Management Zone Analyst (MZA), ii) delimitar ZM considerando la variabilidad espacio-temporal del rendimiento en grano (RNM) o del margen bruto (MBM), iii) comparar la concordancia de ZM delimitadas con diferentes métodos a partir de mapas de rendimiento o margen bruto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Las condiciones de los sitios analizados corresponden al ambiente característico del Oeste de la provincia de Entre Ríos (Argentina), ubicado en la franja costera del Departamento Diamante. La zona se caracteriza por un paisaje de terrazas medias y bajas, con pendientes medias de 2 a 4%, con suelos Molisoles y Vertisoles.

Los cultivos considerados (trigo, maíz y soja) se implantaron en las fechas de siembra óptimas para la región. La implantación de todos los cultivos fue en siembra directa y el manejo de la fertilización, malezas, enfermedades y plagas de acuerdo a las recomendaciones y necesidades de cada cultivo.

Se utilizaron mapas de rendimiento de tres sitios dentro de un establecimiento productivo: Lote 1 (L1), Lote 2 (L2) y Lote 3 (L3) de diferentes campañas y cultivos (Figura 1).

**Figura 1.** Ubicación de los lotes utilizados en el análisis de mapas de rendimiento promedio multianual y margen bruto.

**CÁLCULO DEL RENDIMIENTO NORMALIZADO PROMEDIO MULTIANUAL (RNM)**

Los datos de rendimiento se analizaron de acuerdo al protocolo de procesamiento descripto por Albarenque y Velez (2011), para el cálculo del rendimiento normalizado promedio multianual se interpolaron los mapas en grillas de posición común y tamaño de 10 x 10 metros utilizando el programa AFS (V5.5).

El mapa promedio multianual se realizó con los rendimientos normalizados respecto al promedio para realizar comparaciones entre cultivos, y se calculó como el promedio de cada uno de los puntos de la grilla de la siguiente manera:

$$\overline{S_i} = \frac{\sum_{t=1}^{n} S_{i_t}}{n}$$

Donde $\overline{S_i}$ es el promedio de los rendimiento normalizado en el punto i durante n años ($S_i$).

**CÁLCULO DE MARGEN BRUTO POR CULTIVO Y PROMEDIO MULTIANUAL (MBM)**

Se calculó el rendimiento de indiferencia de los cultivos (RI) a partir del precio neto a campo de los granos al momento de la siembra y los costos de labores, insumos, cosecha y comercialización utilizando datos proporcionados por el productor. El margen bruto (MB) se calculó como el producto entre la diferencia entre el rendimiento observado y el rendimiento de indiferencia y el precio del cultivo. El MBM se calculó de la misma manera que el RNM.

**Tabla 1.** Rendimiento promedio, coeficiente de variación (CV) y rendimiento de indiferencia (RI) por lote, año y cultivo.

| Lote | Año | Cultivo | Rendimiento | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Promedio (tn ha-1) | CV (%) | RI (tn ha-1) |
| L1 | 2008 | Soja | 1.16 | 30 | 1.2 |
| | 2009 | Maíz | 7.39 | 15 | 4.9 |
| | 2010 | Soja | 2.41 | 16 | 0.9 |
| | 2011 | Trigo | 3.42 | 15 | 2.0 |
| | 2011 | Soja | 2.29 | 11 | 0.8 |
| | 2012 | Maiz | 6.54 | 15 | 4.3 |
| | 2013 | Trigo | 2.69 | 17 | 3.0 |
| | 2015 | Trigo | 1.16 | 30 | 1.2 |
| L2 | 2009 | Maiz | 11.38 | 13 | 4.9 |
| | 2010 | Trigo | 3.55 | 13 | 2.6 |
| | 2010 | Soja | 2.86 | 16 | 0.8 |
| | 2012 | Maiz | 8.30 | 17 | 4.3 |
| | 2014 | Trigo | 2.71 | 22 | 2.3 |
| L3 | 2009 | Maiz | 10.43 | 18 | 4.9 |
| | 2010 | Soja | 1.94 | 22 | 0.9 |
| | 2011 | Maiz | 4.81 | 26 | 3.7 |

**METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE MANEJO**

Los datos de RNM y MBM de cada lote fueron clasificados para generar zonas de manejo empleando el programa Management Zone Analyst (MZA) v1.0 (Fridgen et al., 2004). Se seleccionó el número de zonas óptimo sugerido por los índices de optimización del programa.

En cada lote se realizaron clasificaciones de acuerdo al método propuesto por Blackmore (2000) a partir del rendimiento normalizado multianual (RNM) promedio y margen bruto multianual (MBM) promedio, y sus variabilidades interanuales (CV%).

Se compararon los métodos de delimitación utilizando las herramientas de cambio de uso del suelo incluidas en la clasificación semiautomática de QGIS.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En cada uno de los lotes evaluados se delimitaron 4 ZM (Tabla 2), de acuerdo con los umbrales de coeficiente de variación (CV) y RNM o MBM promedio. Las clases delimitadas en los tres lotes (L1, L2 y L3) fueron: ZM1, rendimientos o márgenes altos y estables; ZM2, rendimientos o márgenes bajos y estables; ZM3, rendimientos o márgenes altos e inestables; y ZM4, rendimientos o márgenes bajos e inestables (Tabla 2). El valor de CV que separó el 25% superior de los datos en la distribución acumulada de frecuencia del CV (umbral de delimitación), calculado como propusieron Melchiori y Albarenque (2012), fue diferente entre lotes de acuerdo a la variable considerada para la delimitación de las ZM (RNM o MBM), siendo la variabilidad del MBM mayor a la del RNM. Lo que demuestra la inconveniencia de fijar un valor de CV para la delimitación de ZM, como lo propuso Blackmore et al. (2000). Otros autores (Basso et al., 2012) también han señalado este inconveniente y propusieron una alternativa basada en la clasificación no supervisada del CV. La metodología propuesta en este trabajo se basa en analizar la distribución de frecuencia de la variabilidad seleccionando un umbral de corte para cada set de datos en particular.

El RNM promedio en el L1 fue de 49 y el MBM promedio de 236 (US$ $ha^{-1}$). Los umbrales para la delimitación de ZM resultantes fueron de 41% para el CV del RNM y 109% para el CV del MBM (Tabla 2). En el L2, el CV umbral fue de 37% y el RNM promedio del lote de 52, el umbral de CV del MBM, resultó mayor respecto del CV del RNM, y fue de 88%, mientras que el MBM fue de 419 (US$ $ha^{-1}$). Finalmente, en el L3, el umbral para la delimitación de ZM fue 46% para el RNM y 110% para el MBM (Tabla 2), siendo el RNM promedio de 56 y el MBM promedio de 361(US$ $ha^{-1}$).

El MBM permite establecer zonas con un criterio económico, las que evidencian oportunidades de cambio en las prácticas de manejo (Massey et al., 2008). En este trabajo se propone y se reportan resultados de delimitación de ZM a partir de la variabilidad espacio-temporal del MBM.

**Tabla 2.** Criterios de clasificación para delimitar zonas de manejo según rendimiento normalizado multianual (RNM) y margen bruto multianual (MBM) y variabilidad interanual (CV).

| Lote | Clasificación por RNM | | | | | Clasificación por MBM | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Umbral | | Promedio | | | Umbral | | Promedio | |
| | ZM | CV | RNM | CV | RNM | ZM | CV | MBM | CV | MBM |
| L1 | $L1ZM1_{(RNM)}$ | < 41 | > 49 | 36 | 54 | $L1ZM1_{(MBM)}$ | <109 | >236 | 81 | 282 |
| | $L1ZM2_{(RNM)}$ | < 41 | < 49 | 37 | 45 | $L1ZM2_{(MBM)}$ | <109 | <236 | 96 | 211 |
| | $L1ZM3_{(RNM)}$ | > 41 | > 49 | 43 | 52 | $L1ZM3_{(MBM)}$ | >109 | >236 | 115 | 248 |
| | $L1ZM4_{(RNM)}$ | > 41 | < 49 | 44 | 45 | $L1ZM4_{(MBM)}$ | >109 | <236 | 164 | 165 |
| L2 | $L2ZM1_{(RNM)}$ | <37 | >52 | 20 | 56 | $L2ZM1_{(MBM)}$ | <88 | >419 | 70 | 477 |
| | $L2ZM2_{(RNM)}$ | <37 | <52 | 23 | 48 | $L2ZM2_{(MBM)}$ | <88 | <419 | 75 | 375 |
| | $L2ZM3_{(RNM)}$ | >37 | >52 | 33 | 56 | $L2ZM3_{(MBM)}$ | >88 | >419 | 91 | 452 |
| | $L2ZM4_{(RNM)}$ | >37 | <52 | 36 | 46 | $L2ZM4_{(MBM)}$ | >88 | <419 | 102 | 318 |
| L3 | $L3ZM1_{(RNM)}$ | <46 | >56 | 22 | 63 | $L3ZM1_{(MBM)}$ | <110 | >361 | 57 | 457 |
| | $L3ZM2_{(RNM)}$ | >46 | <56 | 25 | 50 | $L3ZM2_{(MBM)}$ | <110 | <361 | 67 | 295 |
| | $L3ZM3_{(RNM)}$ | <46 | >56 | 42 | 59 | $L3ZM3_{(MBM)}$ | >110 | >361 | 122 | 390 |
| | $L3ZM4_{(RNM)}$ | >46 | <56 | 48 | 46 | $L3ZM4_{(MBM)}$ | >110 | <361 | 152 | 217 |

La delimitación usando el software MZA resultó en dos ZM en el L1 y L3, una del alto RNM y otra de bajo RNM ($L1ZM1_{(MZA)}$, $L1ZM2_{(MZA)}$, $L3ZM1_{(MZA)}$ y $L3ZM2_{(MZA)}$, respectivamente, Figura 2a y Figura 4a), mientras que en el L2 las ZM delimitadas fueron 3 (Figura 3a). En el L1, las ZM delimitadas usando umbrales de CV de RNM y MBM (Figura 2b y c), difirieron sólo del 7% al 4% de las delimitadas con MZA. Comparando las ZM delimitadas usando $RNM_{CV}$ con las generadas usando $MBM_{CV}$, la diferencia fue de 30%, siendo el principal cambio de la $L1ZM2_{(RNM)}$ a $L1ZM4_{(MBM)}$ (bajo rendimiento estable a alto margen bruto inestable), y desde la $L1ZM3_{(RNM)}$ a la $L1ZM1_{(MBM)}$.

En el L2, los datos de la clasificación $RNM_{CV}$ y $MBM_{CV}$ cambiaron 44-46%, respecto a la delimitación con MZA. La principal diferencia se observó con $MBM_{CV}$, donde el 10% de RNM de MZA (correspondiente a la $L2ZM2_{(MZA)}$, zona de bajo rendimiento estable) se reclasificó como $L2ZM4_{(MBM)}$ (zona de bajo MBM e inestable). La delimitación usando $MBM_{CV}$ cambió 21%, respecto usar $RNM_{(CV)}$ para la delimitación de las ZM. El L3 fue el lote que menos cambios mostró entre los métodos de clasificación. Las ZM delimitadas con $RNM_{CV}$ cambiaron solo un 3% respecto a la delimitación con MZA, mientras que al usar el $MBM_{CV}$ el cambio en la clasificación fue de 14%. La comparación de las ZM delimitadas usando $MBM_{CV}$ respecto de las obtenidas usando $RNM_{CV}$, mostró cambios de 22% que se distribuyeron en proporciones similares entre las clases.

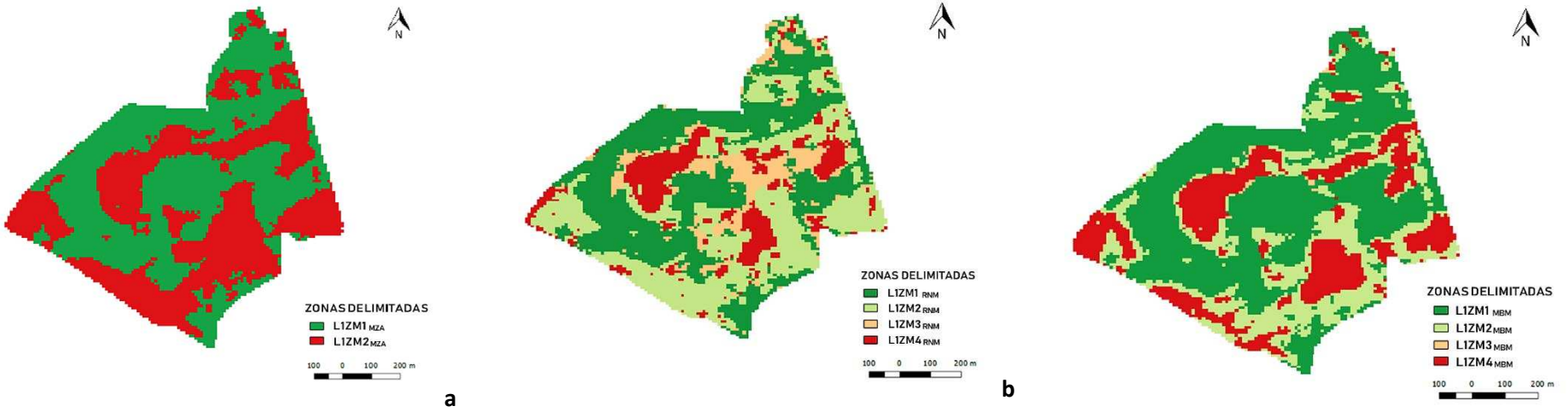



**Figura 2. Zonas de manejo delimitadas en el Lote 1 utilizando diferentes métodos, a) Management zone analyst, b) coeficiente de variación y promedio del rendimiento normalizado medio multianual, y c) coeficiente de variación y promedio del margen bruto medio**

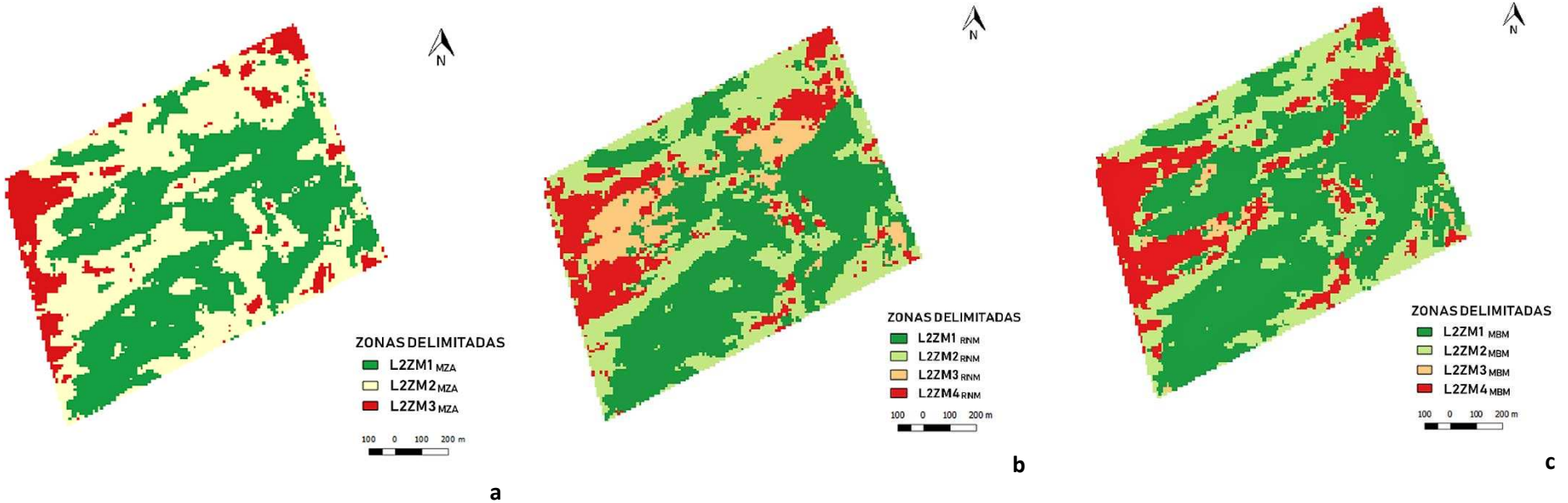
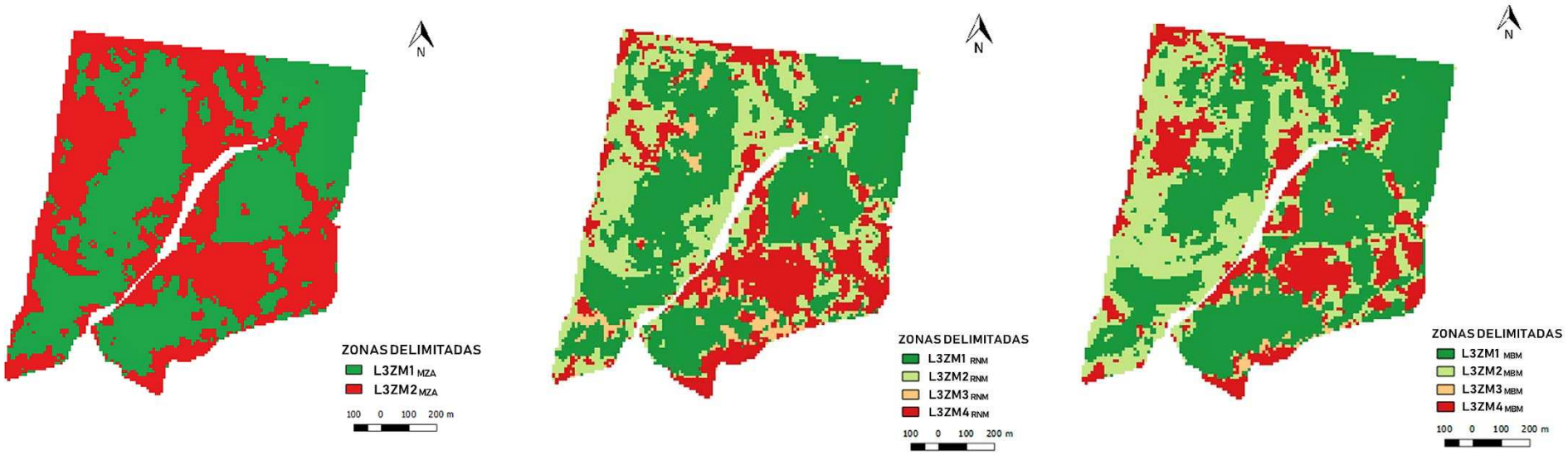



**Figura 3. Zonas de manejo delimitadas en el Lote 2 utilizando diferentes métodos, a) Management zone analyst, b) coeficiente de variación y promedio del rendimiento normalizado medio multianual, y c) coeficiente de variación y promedio del margen bruto medio**




a b c

**Figura 4. Zonas de manejo delimitadas en el Lote 3 utilizando diferentes métodos, a) Management zone analyst, b) coeficiente de variación y promedio del rendimiento normalizado medio multianual, y c) coeficiente de variación y promedio del margen bruto medio**

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los métodos de clasificación empleados no resultaron consistentes en la superficie de las zonas delimitadas (MZA, $RNM_{CV}$, $MBM_{CV}$).

Los umbrales de CV utilizados como límite para delimitar zonas estables e inestables variaron de acuerdo al lote considerado y la variable utilizada para la clasificación (RNM o MBM), lo que sugiere que los umbrales teniendo en cuenta la variabilidad de los datos representan una alternativa mejoradora respecto a usar umbrales arbitrarios de cortes, o la clasificación de mapas de rendimiento de varios cultivos con métodos no supervisados.

En este trabajo, las zonas de RNM altos e inestables coinciden con áreas donde se obtienen MBM altos y estables, donde podría asumirse decisiones de manejo con mayor riesgo económico, dado que el MBM siempre resultó mayor que el MBM promedio del lote. Por otra parte, en las zonas de RNM bajo y estable, resultaría conveniente a priori reducir los gastos en los cultivos o diseñar estrategias de manejo para mejorar el rendimiento.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de Alfredo y Francisco Gutiérrez propietarios del establecimiento. Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto PNAIyAV-1130023: “Tecnologías de agricultura de precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria” de INTA.

## REFERENCIAS

Albarenque, S.M., & Velez, J.P. (2011). Técnicas para el procesamiento de mapas de rendimiento. ISBN-978-987-679-028-4

Basso, B., Fiorentino, C., D’Errico A., & Cammarano, D. (2012). Understanding spatial and temporal variability of wheat yield: an integrated system approach. 10th International Congres on Precision Agriculture.

Blackmore, S. 2000. The interpretation of trends from multiple yield maps. Computers and Electronics in Agriculture. 26 (200): 37–51.

Diker, K., Heermann, D., Brodahl, M., (2004). Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. Precision Agriculture 5 (5), 435–444.

Doerge, T. A. (1999). Management zone concepts. SSMG-2. In: Information Agriculture Conference, August 9-11, 1999, Stewart Center, Purdue.

Fridgen, J. J., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Drummond, S.T., Wiebold, W.J., & Fraisse, C. W. (2004). Management Zone Analyst (MZA): Software for Subfield Management Zone Delineation. *Agronomy Journal*. 96.100–108.

Guastaferro, F.; Castrignano, A.; De Benedetto, D.; Sollito, D.; Troccoli, A. & Cafarelli, B. 2010. A comparison of different algorithms for the delineation of Management zones. Precision Agriculture. 11:600-620.

Kleinjan, J.; Clay, D.E., Carlson, C.G. & S.A. Clay. (1999). Developing productivity zones from multiple years of yield monitor data. SSMG-45, IPNI (www.ipni.net/ssmg).

Kitchen, N.R.; Sudduth, K.A.; Myers, D.B.; Drummond, S.T y S.Y. Hong. (2005). Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. Computers and Electronics in Agriculture. 46: 285-308.

Massey, R.E.; Myers, D.B.; Kitchen, N.R., & Sudduth, K.A. (2008). Profitability maps as an input for site-specific management decision making. Agronomy Journal. 100:52–59.

Melchiori, R.J.M., & Albarenque, S.M. (2012). Variabilidad espacio temporal de rendimiento y margen bruto para la delimitación de zonas de manejo. En actas del 11° Curso de Agricultura de Precisión, Manfredi, Córdoba, Argentina.

Roudier, P.; Tisseyre, B.; Poilve´, H., & Roger, J. (2011). A technical opportunity index adapted to zone-specific management. Precision Agriculture. 12:130–145

Schepers, J., 2001. Practical applications of remote sensing. In: INFO AG 2001. PPI – PPIC – FAR.

Swinton, S.M., & J. Lowenberg-DeBoer. 1999. Profitability of Site-Specific Farming. SSMG-3. In: Information Agriculture Conference, August 9-11, 1999, Stewart Center, Purdue.

Tisseyre, B. & A. B. McBratney. (2008). A technical opportunity index based on mathematical morphology for site-specific management: An application to viticulture. Precision Agriculture. 9: 101–113

Whelan, B.M., & McBratney, A.B., 2000. The null hypothesis of precision agriculture management. Precision Agric. 2. 265–279.

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# DETERMINACIÓN DE ZONAS DE MAYOR CALIDAD Y RENDIMIENTO DE TRIGO (TRITICUM AESTIVUM L.) UTILIZACIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES OBTENIDAS POR VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO

**J. Vélez[1]; F. Scaramuzza[1]; D. Villarroel[1], G. Bessone[2], y P. Salvatierra**

[1] Estacion Experimental Agropecuaria Manfredi del INTA, Manfredi, Córdoba, Argentina

[2] Estudiante de la Universidad Nacional de Villa Maria (UNVM), Villa María, Córdoba, Argantina

[3] Profesora de estadística aplicada de la UNVM, Villa María, Córdoba, Argantina

Trabajo presentado al Primer Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2018),11 al 13 de abril 2018, Santiago, Chile

## INTRODUCCIÓN

En la Argentina, el trigo (Triticum aestivum L.) es uno de los cultivos invernales más importantes. Además de influir en la recuperación y mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo al incluirse sobre el esquema de rotaciones en el plano productivo, destaca por ser un producto cuyo principal destino es la alimentación humana, siendo la panificación uno de los principales procesos de su utilización. Las propiedades que se asocian al gluten, como la captura de dióxido de carbono (CO2) en la fermentación durante el proceso de elaboración provocan características deseables (Brach, 2013). Es por esto que además del rendimiento, el contenido proteico del grano se presenta como un parámetro adicional de manejo al asociarse a su calidad panadera, siendo una forma de medir indirectamente el contenido de gluten del mismo (Chidichimo et al. 2006).

La predicción de performance de variables como la proteína y el rendimiento, en este caso, permitirían planificar medidas de manejo, mejorando la eficiencia de utilización de insumos agrícolas; por ejemplo, mediante fertilizaciones estratégicas tendientes a corregir deficiencias, ajustándolas a objetivos como el logro de bonificaciones por porcentaje de proteína al momento de su comercialización. La adopción de nuevas tecnologías como el sensoramiento remoto agrícola colaboran en este sentido.

La percepción remota puede definirse como el conjunto de técnicas que permiten la recolección de datos de un área determinada sin entrar en contacto directo con ella. Implica la medición de la energía electromagnética que los objetos reflejan en formas de ondas diferenciadas según su longitud medida en nanómetros (nm). Aunque la sucesión de valores de longitudes de onda es continua, suelen establecerse una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de estas bandas de longitudes de onda se denomina espectro electromagnético (Chuvieco, 1995) comprendiendo distintos tipos de familias (Bragachini, et al. 2000.). En general, debido que a que la luz solar es la principal fuente de energía utilizada en la percepción remota aplicada al agro, sólo una porción del espectro total es de interés. Su combinación permite analizar características espectrales de la vegetación mediante algoritmos como lo son el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el índice de borde rojo de diferencia normalizada (NDRE) y la combinación del índice de reflectancia de la absorción de clorofila y el índice de vegetación ajustado al suelo (TCARI/OSAVI; por sus siglas en inglés).

El NDVI es uno de los índices más conocidos y utilizados. Fue desarrollado por Rouse (1974), basa su estimación por el contraste entre la zona de máxima absorción en el rojo (entre los 670 nm y 710 nm) debido a los pigmentos de clorofila y la máxima reflexión en el infrarrojo (800 nm a 1300 nm.) causado por la estructura celular de la hoja (Chaoyang et al. 2008), resultando ser un buen estimador de la fracción fotosintéticamente activa absorbida por el canopeo. En el cultivo de trigo, además, se han encontrado fuertes asociaciones entre los mapas generados a través del índice y los de rendimiento mediante el monitor de la cosechadora. El NDRE se caracteriza por incorporar el área espectral del borde rojo (entre los 710 nm a 730 nm) en reemplazo de la del rojo. La misma tiende a reflejar la región del espectro en que la

reflectancia de la vegetación pasa de ser baja a alta, permitiendo captar mejor las variaciones de la canopia del cultivo (Fillella, et al. 1994). El índice TCARI/OSAVI, relaciona dos índices; TCARI que mide la profundidad de absorción de clorofila en el rojo (670 nm) en relación a los máximos picos de reflectancia en el verde (550 nm) y borde rojo (710 nm). Sin embargo, es sensible a la reflectancia del suelo, por lo que es corregido con el índice OSAVI que utiliza bandas del rojo e infrarrojo cercano (800 nm) para reducir su influencia y realzar la sensibilidad a las variaciones relacionadas con el contenido de clorofila (Isabel Martín et al. 2006).

La importancia de determinar el contenido de clorofila en hoja radica en la posibilidad de evaluar la nutrición nitrogenada del cultivo, al ser un indicador de la actividad fotosintética de la planta (Schepers, et al., 1992). Bergh et al. (2000) sostiene además que cuando la misma es evaluada durante el estadio de hoja bandera (pre-antesis) en trigo, se logra obtener una alta correlación con el contenido de proteína final del grano (R2= 0.69).

En el presente trabajo, con los datos que se obtuvieron mediante el UAV y los monitores de la cosechadora se plantearon los siguientes objetivos: 1) determinar la distribución espacial del rendimiento y proteína del cultivo de trigo en el área del ensayo, 2) crear mapas de predicción espacial de rendimiento y proteína y evaluar la calidad de predicción mediante la evaluación de su varianza, 3) crear mapas con los índices NDVI, NDRE y TCARI/OSAVI, 4) analizar la presencia de patrones en los mapas de índices asociados a las condiciones de secano, riego y fertiriego, 5) evaluar la capacidad predictiva de zonas de mayor rendimiento y zonas de mayor proteína utilizando los mapas de índices, 6) evaluar la asociación entre proteína - TCARI/OSAVI, rendimiento – NDVI y rendimiento – NDRE.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

El área de estudio corresponde a un lote experimental de 10 hectáreas (ha) en la estación experimental agropecuaria (E.E.A) del instituto nacional de tecnología agropecuaria (INTA) de la localidad de Manfredi; ubicado geográficamente en 31º 49’ de Latitud Sur y 63º 46’ de Longitud Oeste. El suelo sobre el cual se encuentra el establecimiento pertenece a la serie Oncativo; la misma se caracteriza por describirse como un Haplustol Tícpico, textura franco limosa, cuya secuencia de horizontes es A1, A/C, Ck, suelo bien drenado, profundo y con buenas capacidades de almacenamiento de agua. En cuanto al aspecto climático la zona es caracterizada como semiárida con un promedio de 757 mm anuales y temperaturas que alcanzan el mínimo absoluto en julio-agosto (-10°C) y máximas absolutas en diciembre-enero (40°C).

Partiendo de la delimitación dada por el círculo de riego que posee el lote de 40 ha, la unidad de observación se ubicó sobre 2 ha del mismo, con tres condiciones de producción diferenciadas y de la misma superficie de acuerdo con el esquema presentado en la figura 1; siendo (1) fertirriego, (2) riego y (3) secano respectivamente.

Toda la unidad se implantó con la variedad de trigo BIOINTA 1005 el 11 de junio del 2015 a una distancia de 0,17 cm y una profundidad de 4 cm. Las densidades de siembras prescriptas fueron de 150 kg/ha-1 para las porciones con riego y 110 kg/ha-1 para secano, con una fertilización base de 20 kg N/ha-1 (urea granulada) en todos los casos. Las dos zonas con riego complementario por pivot totalizaron 276 mm a lo largo de todo el ciclo del cultivo. A su vez se adicionó en dos ocasiones fertilizante líquido nitrogenado UAN (28-32% de N equivalente) con el riego y sobre la zona (1).

Originalmente el sensoramiento mediante el UAV se había programado para hoja bandera (Z3.9 –escala Zadoks) sin embargo, por cuestiones de logística y climáticas finalmente se realizó en floración (Z5.0) el día 30 de septiembre de 2015. La imagen fue capturada mediante una cámara multiespectral Micasense montada en el dron, la misma equipa 5 filtros espectrales capaces de tomar 5 bandas del espectro electromagnético (EEM): azul (blue), verde (green), rojo (red), borde rojo (red edge) e infrarrojo cercano (NIR), fue utilizada luego para el cálculo de índices de vegetación. El segundo relevamiento se efectuó el día

11 de diciembre de 2015 durante la cosecha del cultivo a través de dos monitores; uno de rendimiento, Ceres 8000i de la empresa Abelardo Cuffia, y otro de calidad de granos de la firma TecnoCientífica denominado NIR-CropAnalizer, ambos montados en una cosechadora Don Roque 125R.

**PROCESAMIENTO DE DATOS**

El procesamiento de datos se dividió según el origen del muestreo de datos; • Imagen multiespectral obtenida con UAV: 1) cálculo de índices de vegetación NDVI, NDRE, TCARI/OSAVI, 2) interpolación mediante el método de distancia inversa ponderada (IDW). • Datos de los monitores de rendimiento y calidad: 3) selección del modelo de semivariograma y estimación de parámetros y 4) predicción de valores en sitios no muestreados mediante interpolación Kriging.

Luego de interpolar los datos de ambos métodos de muestreo: 5) ajuste de modelos lineales mixtos, interpretando grado de asociación entre variables NDVI-Rendimiento, NDRE-Rendimiento y TCARI/OSAVI-Proteína.

El cálculo de índices de vegetación se realizó con el software QGIS 2.14 combinando bandas individuales de la imagen multiespectral mediante las siguientes operaciones matemáticas.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{Red + NIR}$$

$$NDRE = \frac{NIR - Red\ edge}{Red\ edge + NIR}$$

$$TCARI/OSAVI = \frac{3 * (Red\ edge - Red) - 0.2 * (Red\ edge - Green) * (\frac{Red\ edge}{Red})}{(1 + 0.16) * (\frac{NIR - Red}{NIR + Red + 0.16})}$$

La interpolación por el método IDW se llevó a cabo con el software CASE AFS 5.52 (Case Corporation. 2004), donde los puntos de muestreo se ponderaron de tal manera que la influencia de uno en relación a otros disminuyó según la distancia al punto desconocido que se creó.

La estimación de semivariogramas se realizó sobre los puntos muestreados por los dos monitores de la cosechadora mediante el software Infostat (Di Rienzo et al. 2015). Se determinaron inicialmente los parámetros descriptivos y se seleccionó un modelo empírico. Si bien provee estimaciones de un conjunto finito de distancias, se utilizó como base para obtener estimaciones de la función semivariograma para cualquier interdistancia perteneciente al dominio espacial bajo estudio, mediante el ajuste de un modelo teórico. Existiendo distintos modelos (exponencial, esférico, gaussiano, etc.) el elegido para ambas variables (proteína y rendimiento) fue el esférico, caracterizado por tener un comportamiento lineal cerca del origen y por llegar a la meseta/umbral a la distancia Rango (R). Luego, con el objetivo de predecir valores de ambas variables en sitios no muestreados se utilizó la técnica geoestadística de interpolación Kriging con el mismo software Infostat (Di Rienzo et al. 2015). Se basa en el conocimiento del funcionamiento de la variable en el espacio, la covarianza entre puntos muestrales y un punto cuyo valor debe predecirse. Evita muestras redundantes ponderando de forma diferente observaciones que están muy cerca entre sí (en la misma región) que puntos que se encuentren en lados opuestos al que se quiera predecir (Córdoba, 2014). Entre los métodos específicos de Kriging que utilizan todos los datos simultáneamente (ordinario, simple, universal) se optó por el ordinario, en donde la media de la variable es

estimada localmente. Mientras que la predicción asignada a los puntos incógnita fue por bloques.
Los mapas resultantes de las 5 variables fueron recortados y presentados en una grilla de 3m x 3m con el software CASE AFS (5), permitiendo luego concatenarse en una única tabla bajo las mismas coordenadas geográficas.
Un último proceso de análisis involucró el ajuste de modelos lineales mixtos para interpretar el grado de asociación existente de las variables en el siguiente orden.

- NDVI – Rendimiento.
- NDRE – Rendimiento.
- TCARI/OSAVI – Proteína.

Los modelos lineales mixtos suelen también denominarse modelos multinivel o jerárquicos, debido a que tienen en cuenta la estructura agregada de los datos en distintos niveles que pueden o no estar ordenados jerárquicamente y además mixtos porque combinan efectos fijos y aleatorios. Siguen una estrategia lógica en la que se trata de describir la variable respuesta "dependiente" y una o varias variables explicativas "independientes/predictoras" (Seoane, 2014).
Los efectos, o la influencia de las variables explicativas sobre la respuesta se miden a través de distintos parámetros de los modelos. Si los valores que puede tener dicha variable explicativa se encuentran fijados de ante mano se denomina de "efectos fijos" y son independientes entre observaciones, mientras que si se hallan otros al repetir el estudio bajo diferentes circunstancias se denomina "efectos aleatorios". Los primeros se ajustan típicamente entre los parámetros en una regresión (pendiente e intercepto), en los segundos sus distribuciones se estiman mediante la varianza de una distribución normal (22).
En el caso del ensayo en cuestión, se ajustaron modelos lineales mixtos, cuyas variables dependientes fueron proteína y rendimiento y las explicativas NDVI, NDRE y TCARI/OSAVI. En efectos aleatorios se modeló la función de correlación de los errores que para todos los casos fue la correlación espacial esférica en términos de las coordenadas geográficas X e Y.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la figura 1 se visualizan los mapas de proteína (a) y de rendimiento (b) obtenido de los dispositivos montados en cosechadora sin ningún tipo de procesamiento, a los que se les ajusto el semivariograma

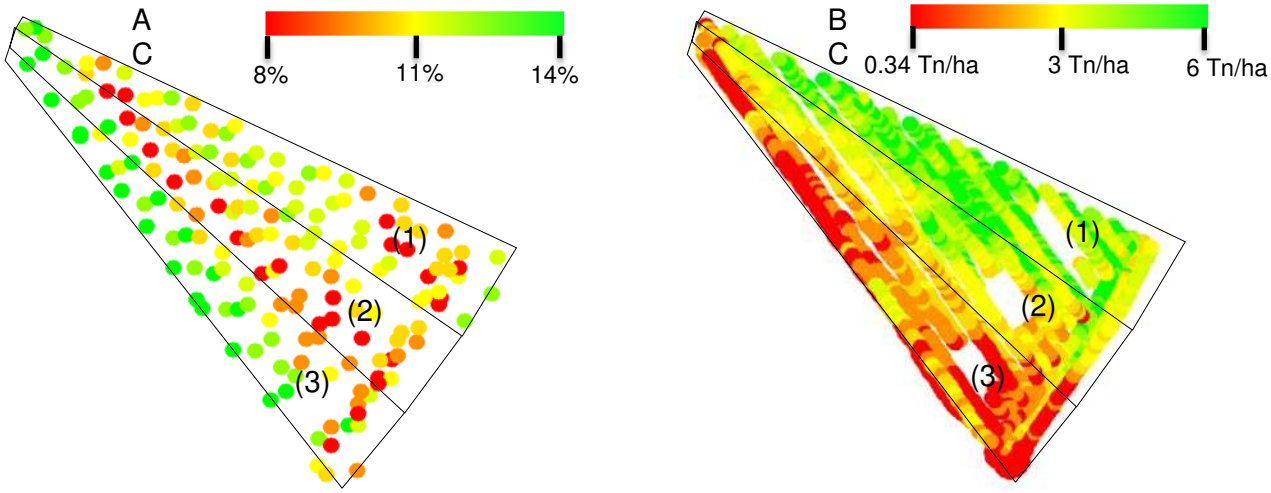



**Figura 1: Mapa de proteína (A) y mapa de rendimiento (B). Los índices (1), (2) y (3) zonas de manejo agronómico de fertirriego, riego y secano respectivamente.**

Mediante el ajuste de semivariogramas fue posible describir y determinar la autocorrelación espacial. La selección del mejor semivariograma se realizó mediante el criterio de akaike (Akaike,1974).
La modelación de dicha variabilidad espacial en función de la distancia a través de semivariogramas dio como resultado dos funciones ajustadas y permitió obtener los parámetros Rango, Sill y Nugget (Tabla 1) que luego se utilizaron en la interpolación Kriging.

**Tabla 1.** Parámetros semivariograma rendimiento y proteína.

| Parámetros/Variable | Rendimiento | Proteína |
|---|---|---|
| **Rango** | 129.94 | 67.67 |
| **Sill** | 0.51 | 1.52 |
| **Nugget** | 0.29 | 0.57 |
| **Modelo** | Esférico | Esférico |
| **AIC** | 1837.40 | 338.30 |
| **BIC** | 1807.63 | 354.55 |

Como puede apreciarse en la tabla superior, los valores de Rango obtenidos indican la distancia a la cual la curva alcanza la asíntota, por lo tanto, observaciones con una interdistancia superior al mismo se consideraron independientes o no correlacionados.
A su vez, con los valores de Sill y Nugget fue posible obtener una medida del grado de estructuración espacial denominada varianza estructural relativa (RSV). A continuación, puede observarse su fórmula y cálculo para este caso en particular.

$$RSV_{Rendimiento} = \frac{C}{C + C_0} \times 100\% = \frac{0.51}{0.51 + 0.29} \times 100\% = 63.7\%$$

$$RSV_{Proteína} = \frac{C}{C + C_0} \times 100\% = \frac{1.52}{1.52 + 0.57} \times 100\% = 72.7\%$$

Un alto valor de RSV indicó que las predicciones geoestadísticas fueron más eficientes que aquellas obtenidas con métodos de predicción que ignoran la información espacial.
De esta manera, los datos se hayan estructurados y con variabilidad espacial siendo, por lo tanto, coincidente con lo propuesto por Legendre (1993) quien plantea que valores observados en lugares estrechamente cercanos son más similares que aquellos con mayor separación, es decir, son dependientes de las distancias que lo separan.
Como Córdoba (Córdoba, 2014) afirmó, tampoco pueden tratarse estadísticamente como independientes por ser resultado de una compleja interacción o covariabilidad de factores biológicos, edáficos, topográficos, antropogénicos o de manejo y climáticos. Esto también fue presentado por Diacono y col. (Diacono, et al. 2012) quienes mencionaron que tanto el rendimiento como el contenido de proteína son espacialmente dependientes al estar influidas por la variabilidad y distribución inherente del suelo.

**MAPAS DE ÍNDICES, RENDIMIENTO Y PROTEÍNA**

A continuación, se presentan los resultados de cada variable luego de realizar interpolación de los datos.
Al hacer un análisis visual en el mapa de la figura 2a se determinó que si bien el NDVI es una buena medida del estado de vegetación verde y sana; tiende a saturar en condiciones de densa vegetación, a medida que el índice de área foliar aumenta bajo zonas con riego. Esto además pudo distinguirse en el gráfico de distribución de frecuencias como una gran cantidad de datos (representados junto a líneas de la leyenda)

concentrados sobre altos valores (figura 2b). Dicha desventaja ha sido demostrada con anterioridad por Huete (2002), afirmando que la sensibilidad del NDVI a la banda del rojo es una de las causantes de su saturación, debido a la baja capacidad de penetración óptica en la cobertura vegetativa que presenta.

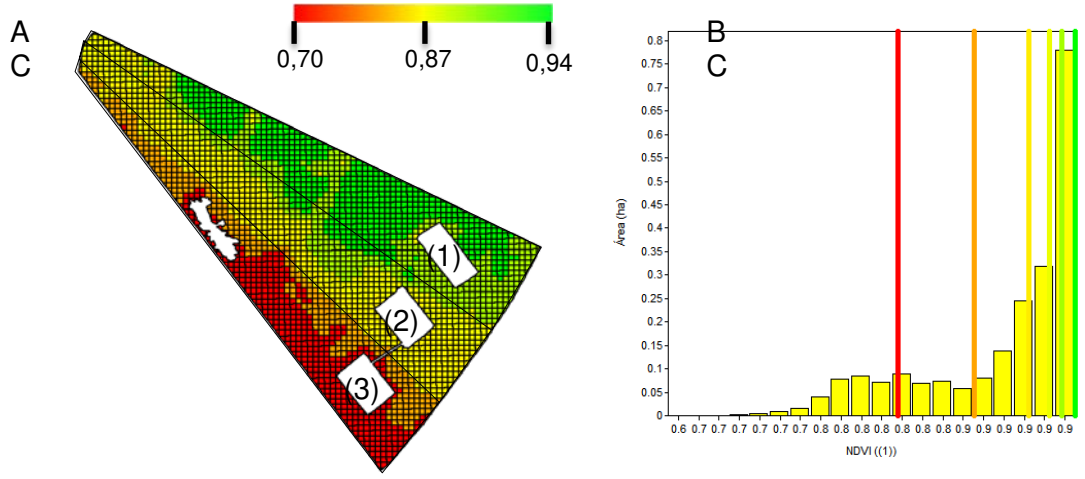



**Figura 1.** Mapa grilla de NDVI (A) e histograma de frecuencia relativa de NDVI (B) en función de la superficie del lote analizada (ha) en etapa 5 de Zadok del cultivo. Los índices (1), (2) y (3) zonas de manejo agronómico de fertirriego, riego y secano respectivamente. Sobre (B) las líneas verticales representan el valor más alto para cada rango de NDVI junto al color con el cual cada rango se visualiza en el mapa.

El índice NDRE por otra parte, difirió con respecto al NDVI al utilizar la banda del borde rojo en lugar de los principales picos de absorción y reflectancia, permitiendo discriminar sin saturación las unidades de observación. Obtuvo un mayor grado de similitud con el mapa de rendimiento, sobre todo entre riego y fertiriego, pudiendo observarse la mejor distribución de puntos sobre el mapa e histograma (Figura 7,8). Como Fillella y Peñuelas (Fillella, et al. 1994) manifestaron, capitalizó la sensibilidad del borde rojo a pequeños cambios en la canopia, a un rango más amplio del contenido de clorofila y nitrógeno del cultivo.

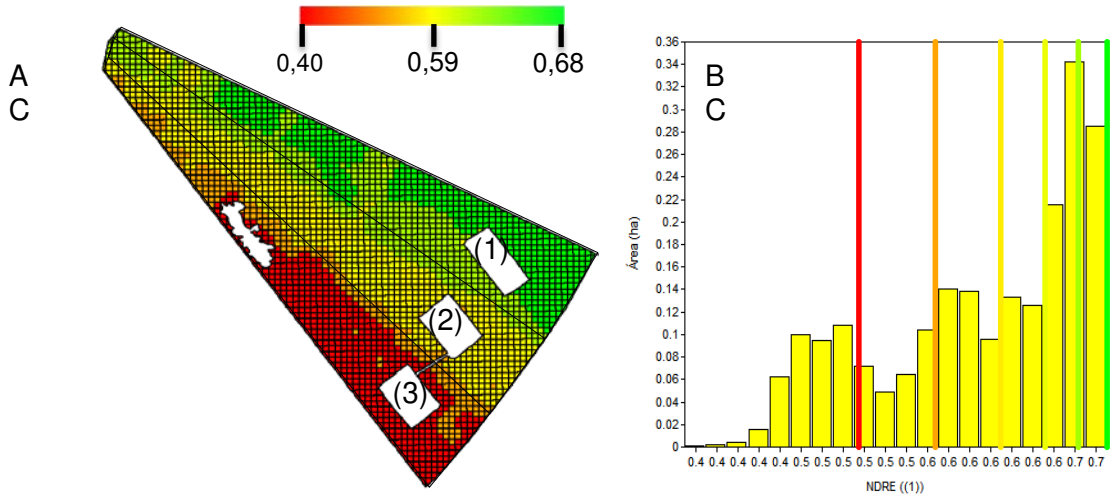



**Figura 2.** Mapa grilla de NDRE (A) e histograma de frecuencia relativa de NDRE (B) en función de la superficie del lote analizada (ha) en etapa 5 de Zadok del cultivo. Los índices (1), (2) y (3) zonas de manejo agronómico de fertirriego, riego y secano respectivamente. Sobre (B) las líneas verticales representan el valor más alto para cada rango de NDRE junto al color con el cual cada rango se visualiza en el mapa.

En cuanto al índice TCARI/OSAVI, no se encontró una relación visual directa al analizar su mapa con respecto al de proteína, particularmente en cuanto a los bajos porcentajes proteínas hallados en la condición de riego y sobre los intermedios en fertiriego. Además, como Haboudane (2008) planteó, la performance del índice disminuyó cuando menor fue la variación entre el contenido mínimo y máximo de clorofila, parámetro normalmente observado en el cultivo de trigo (con rangos de intermedio a alto) explicando como en los resultados obtenidos el índice no logró diferenciar las condiciones de riego y fertiriego (Figura 9,10) presentando saturación; siendo importante destacar que también pudo ser sensible a otras variables de la vegetación, como IAF, % de canopeo notificado por Haboudane (2002) y radiación fotosintética absorbida

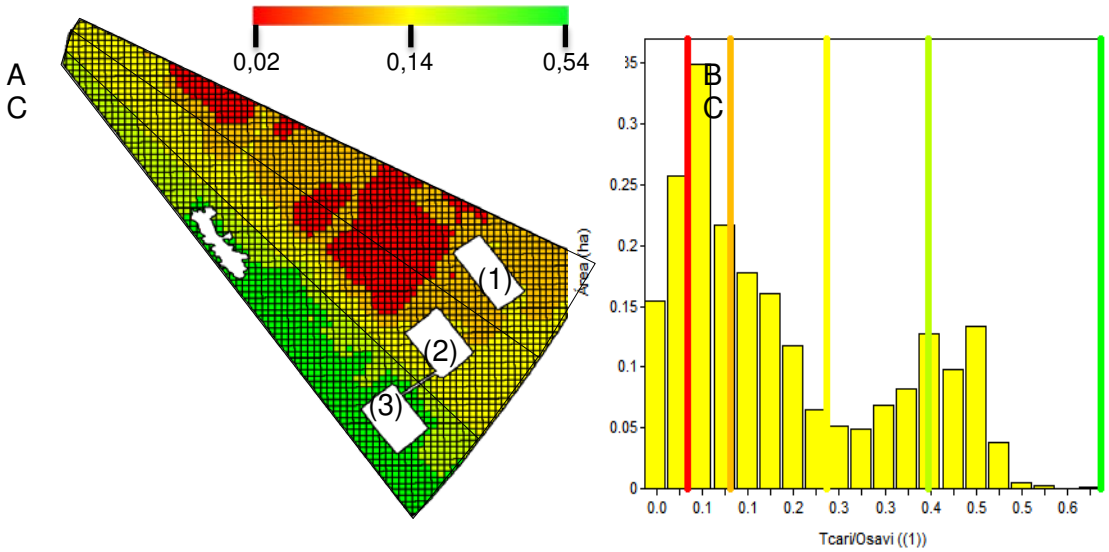



**Figura 3.** Mapa grilla de TCARI/OSAVI (A) e histograma de frecuencia relativa de TCARI/OSAVI (B) en función de la superficie del lote analizada (ha) en etapa 5 de Zadok del cultivo. Los índices (1), (2) y (3) zonas de manejo agronómico de fertirriego, riego y secano respectivamente. Sobre (B) las líneas verticales representan el valor más alto para cada rango de TCARI/OSAVI junto al color con el cual cada rango se visualiza en el mapa.

Luego, se incorporaron los puntos de proteína y rendimiento (Figura 11,12) predichos con anterioridad para obtener para cada cuadrícula/dato en particular, una ubicación geográfica similar entre las distintas variables, haciendo posible la comparación de los datos involucrados.

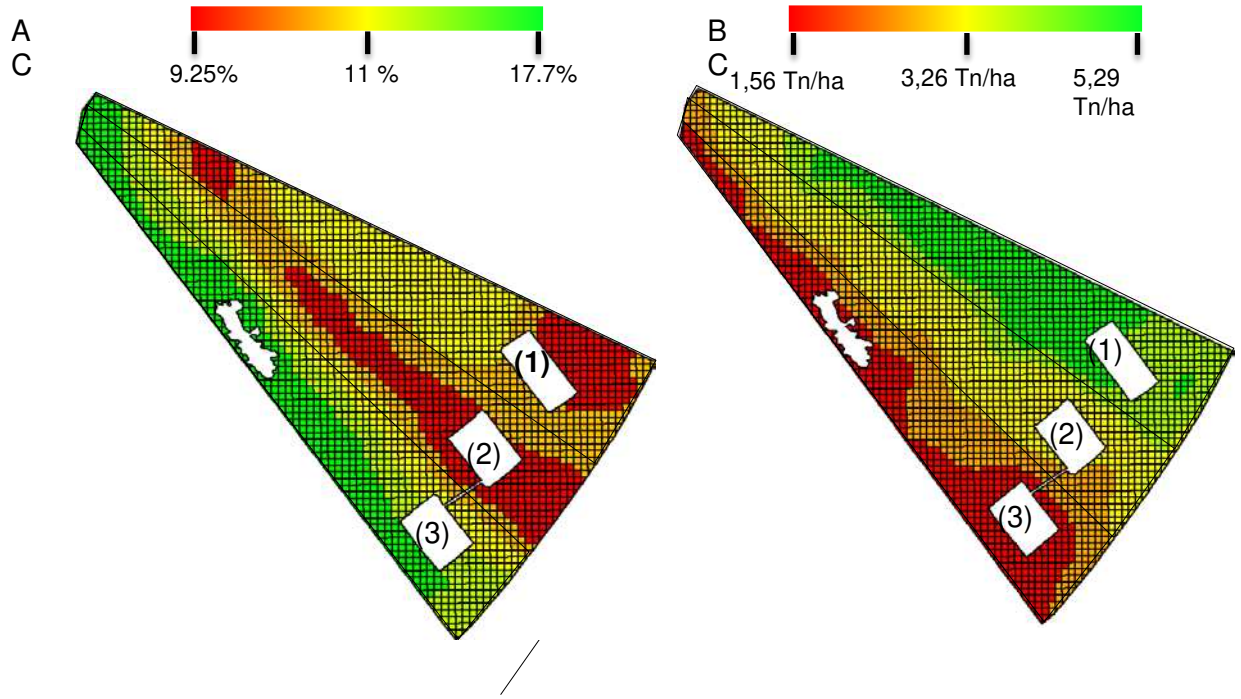



**Figura 4:** Mapa grilla de proteína (A) y mapa grilla de rendimiento (B). Los índices (1), (2) y (3) zonas de manejo agronómico de fertirriego, riego y secano respectivamnete.

**Asociación entre índices verdes y variables rendimiento- proteína.**

Como se planteó en los objetivos iniciales del trabajo, al unir el conjunto de variables obtenidas con ambos métodos de muestreo en una única tabla, se indagó las asociaciones existentes en el siguiente orden mediante modelos lineales mixtos.

1) NDVI – Rendimiento
2) NDRE – Rendimiento.
3) TCARI/OSAVI – Proteína

En todos los casos, los resultados muestran ser estadísticamente significativos. Cabe aclarar que el R2 se limitó sólo a evaluar el grado de asociación entre las variables y no a la validación de la capacidad predictiva de un modelo en particular. A efecto de determinar la fiabilidad de tomar como punto de referencia y comparación mapas de índices de vegetación con respecto al de rendimiento y proteína, con una distancia temporal de 72 días entre ambos.

De esta manera, la variabilidad en el índice NDVI explicó en un 68% la variación de la variable rendimiento y la variabilidad en NDRE explicó un 79%. El mejor desempeño por parte del segundo, se produjo en la diferenciación de las condiciones de fertirriego vs riego, como se remarcó con anterioridad. Esto se pudo comprobar cuando se realizó el mismo análisis sin incluir el fertirriego, el índice NDVI arrojó un R2 mayor de 73%.

En cuanto al índice TCARI/OSAVI, su variabilidad pudo explicar la variabilidad de proteína 72 días antes de la cosecha, en un 53%. El bajo porcentaje obtenido al relacionarlo directamente con el nivel de proteína en grano, estaría asociado a su propia capacidad para medir el contenido de clorofila y esta a su vez (como un indicador de la actividad fotosintética) a la concentración de N en vegetación verde, siendo dependiente de la partición que luego la planta haga del mismo según el momento fenológico considerado.

Así, el atraso en el sensoramiento por problemas logísticos, de hoja bandera a espigazón pudo también haber contribuido a la menor performance del índice.
Sin embargo, cuando no se incluyó la porción de fertirriego el resultado no mejoró (R2=48%) y aunque permitió una mejor diferenciación visual de zonas de diferente calidad, no fue posible corroborarlo estadísticamente. El menor porcentaje en este caso pudo deberse a la eliminación de datos erróneos sobre el mapa de proteínas debido a la presencia de zonas del ensayo con ausencia de vegetación por playas.

**RESUMEN Y CONCLUSIONES**

Es posible usar mapas de los índices NDVI y NDRE como referencia para dar una idea sobre la distribución de zonas de mayor potencial de rendimiento 2 meses antes de la cosecha del cultivo de trigo, teniendo presente que las mejores performances del NDVI se presentan en zonas con menor cobertura vegetal. A medida que la misma aumenta, por ejemplo, bajo zonas de riego, la inclusión de la banda del borde rojo mediante el índice NDRE mejora la precisión del mapa.

El índice TCARI/OSAVI tuvo un desempeño relativamente pobre al relacionarlo con el contenido final de proteína en grano y en la diferenciación de zonas de calidad a nivel del ensayo sobre las porciones bajo riego. Cuando se consideró sólo las de secano y riego si bien estadísticamente el grado de asociación fue menor, visualmente permitió mejorar la identificación de zonas de diferenciada calidad, y a juzgar por el efecto del fertirriego sobre el nivel de proteína final medido en cosecha, podría utilizarse como referencia para identificar zonas de posible fertilización suplementaria con un tiempo prudencial a la misma.

La inclusión del sensoramiento remoto como herramienta adicional claramente muestra ventajas en la eficiencia de utilización de insumos, en este caso sobre la fertilización y en la calidad de la producción final.

Este estudio da los primeros pasos para el desarrollo a futuro de un modelo específico de predicción de proteína con antelación a la cosecha, por lo que se recomienda continuar con la evaluación sobre el cultivo de trigo tanto de los índices de vegetación tratados como de aquellos que sean de interés en relación a variables como rendimiento y calidad.

**REFERENCIAS**


Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Identification Model, IEEE: Transactions on Automatic Control. Vol 19: 716-723.

Bergh, R.; Baez, A.; Quattrocchio, A.; Zamora, M. (2000). Fertilización nitrogenada para calidad en trigo candeal. Informaciones Agronómicas 7. Pág. 13-16.

Brach, A. M. 2013. Factores que determinan la variación de la calidad panadera en trigo. Voces y Ecos. Núm 38: 26-29.

Bragachini, A.; Bianchini. M.; Martellotto, A.; Méndez; Martini, V. A. E. 2000. Percepción Remota. EEA INTA Manfredi. 20 p.

Case Corporation. 2004. Software de gestión de información AFS. 1 disco compacto, 8 mm.

Chaoyang W.; Zheng N.; Quan, T.; Wenjiang, H. 2008. Estimating chlorophyll content form hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. Agricultural and forest meteorology. Núm 148: 1230-1241.

Chidichimo, H.O.; Sempé, M.E.; Aulicino, M.B.; Almaráz, L.B. 2006. Informe sobre calidad comercial e industrial de trigo. Campaña 1994/95 y 2005/06. UNLP. Pág. 192.

Chuvieco, Emilio. 1995. Fundamentos de la teledetección espacial. Segunda edición. Madrid, España. Ediciones RIALP, S.A. Pág. 48-50.

Córdoba, M. 2014. Herramientas estadísticas para el monitoreo y uso de la variabilidad espacial del rendimiento y propiedades de suelo intralote. Tesis para Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.

Diacono, M.; Castrignanò, A.; Troccoli, A., De Benedetto, D.; Basso, B.; Rubino, P. 2012. Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in the Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. Field crops research – El Sevier. Núm 131: 49-62.

Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Fillella, I.; Peñuelas, J. 1994. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. INT. J. Remote sensing. Vol 15. Núm 7: 1459-1479.

Haboudane, D.; Miller, J.R.; Tremblay, N.; Vigneault P. 2008. Remote estimation of crop chlorophyll content using spectral indices derived form hyperspectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol 46. Núm 81: 423-437.

Haboudane, D.; Miller, J.R.; Tremblay, N.; Zarco-Tejada, P.J.; Dextraze, L. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precisión agriculture. Remote sensing of environment. Núm 81: 416-426.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.; Gao, X.; Ferreira, L. 2002. Overview of radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment. Núm 83: 195-213.

Isabel Martín, M. P.; Barreto Ruíz, L.; Fernández-Quintanilla Gallastegui, C. 2006. Teledetección y Agricultura de Precisión: Un ejemplo de aplicación a la cartografía de malas hierbas en cultivos de cereal. Instituto de Economía, Geografía y Centro de Ciencias Medioambientales Madrid. Pág. 984-985.

Legendre, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? Ecology 74. Pág. 1659–1673.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C.; 1974. Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC. USA. 137 p.

Seoane, J. 2014. ¿Modelos mixtos linales? Una introducción para el usuario temeroso. Grupo de Ecología Terrestre (TEG). Dpto. Ecología - Universidad Autónoma de Madrid. 37 p.

Schepers, J.; Blackmer, T.; Francis, D. 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. In B. Bock y K. Kelly. Predicting fertilizer needs for corn in humid regions. NFERC, Bull. Y-226. Muscle Shoals, AL, EE.UU. Pág. 105 – 114.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

Secretaría de Agroindustria

Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# MÉTODO DE PRESCRIPCIÓN DE NITRÓGENO BASADO EN SENSORES PARA CANOLA DE PRIMAVERA EN ARGENTINA

**Ricardo Melchiori [1], Leonardo Coll[1], Susana Albarenque[1], Alejandra Kemerer[1,2] Juan Pautasso[2,3]**

[1]Estación Experimental Agropecuaria Paraná del INTA, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
[2]Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro verde, Entre Ríos, Argentina
[3]Agencia de Extensión Rural Diamante del INTA, Diamante, Entre Ríos, Argentina

Trabajo presentado al Primer Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2018)

## *INTRODUCCIÓN*

La canola representa un cultivo invernal promisorio que puede ser una alternativa al cultivo de trigo en diversas regiones en Argentina (Iriarte y Valetti, 2008). El mercado de esta oleaginosa tiene perspectivas importantes, en tanto crezca la demanda de aceites en reemplazo de combustibles fósiles. Adicionalmente, en áreas donde el trigo no alcanza niveles de alta productividad representaría una opción complementaria en las secuencias de cultivo, siendo un antecesor excelente en cultivos de soja e incluso de maíz de segunda época.

Existen numerosas experiencias y referencias que indican los elevados requerimientos de nutrientes del cultivo de canola (Orlovius, 2003; Grant et al., 2012), particularmente se ha reportado localmente respuesta a azufre y se disponen de umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada mayores que los establecidos para trigo (Melchiori et al., 2012).

Las prácticas de manejo sitio específico pueden incrementar la eficiencia de uso de nutrientes, especialmente en situaciones donde se incrementan las dosis de fertilización acorde a la búsqueda de altos niveles de productividad en cultivos de alta demanda de nutrientes como la canola

En este sentido, recientemente se han desarrollado métodos de prescripción de N sitio específico en colza de invierno, mencionándose la importancia del crecimiento inicial otoñal, como un elemento clave para el desarrollo de métodos de ajuste de fertilización en la estación de crecimiento (Norton, 2016; Pahlmann et al., 2017).

El crecimiento inicial, vigor y/o acumulación de biomasa y nitrógeno en los cultivos puede inferirse a partir de índices de vegetación como el NDVI (Rouse, 1974). Asimismo, este y otros índices se ha demostrado que pueden anticipar diferencias de productividad sitio especifico (Shanahan et al., 2008, Franzen et al., 2016).

La utilidad de métodos asistidos con el uso de sensores remotos ópticos para determinar necesidades de refertilización de cultivos, ha sido desarrollada y evaluada en cultivos de trigo (Raun et al 2005, Melchiori et al 2010) y maíz (Solari et al., 2010). Sin embargo, aún son escasos los antecedentes de uso de sensores ópticos para prescribir refertilización en canola. En este sentido, es relevante estudiar la viabilidad de esta práctica como alternativa de manejo de la fertilización nitrogenada complementaria en cultivos de canola, donde se requieren altas dosis de fertilización y el fraccionamiento de la dosis aplicada reduciría los riesgos productivos, económicos, y ambientales (Norton 2016).

Uno de los métodos más utilizados basado en el uso de sensores ópticos para decidir fertilización de cultivos es denominado *Sensor Based Nitrogen Rate Calculator (SBNRC)* (Raun et al., 2005). El método establece relaciones entre mediciones de NDVI mediante sensores ópticos, el rendimiento y la respuesta a la fertilización (Arnall et al., 2009). Estas relaciones, junto con el contenido de N en granos, y una eficiencia de uso del fertilizante constituye la base de un algoritmo para calcular la dosis de fertilización nitrogenada (Raun et al., 2005). El objetivo del presente trabajo es desarrollar relaciones entre mediciones realizadas con sensores ópticos, el crecimiento, rendimiento y respuesta a la fertilización nitrogenada que sirvan de guía para elaborar un algoritmo de fertilización en colza.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se condujeron experimentos a campo durante las campañas 2014 y 2015 en dos lotes de producción comercial de colza, en un establecimiento localizado en Diamante, Entre Ríos, Argentina (-32°12´44´´, -60°32´42´´). En cada lote se seleccionaron sitios experimentales a partir de la utilización de un mapa de suelos detallado (1:20.000) realizado específicamente para el establecimiento por personal entrenado de la EEA Paraná del INTA, junto a zonas de manejo establecidas a partir de mapas de rendimiento normalizados de cultivos anteriores. La siembra de los cultivos se realizó en ambas campañas en fecha óptima (durante el mes de mayo) y la protección de los cultivos se realizó con las prácticas comunes y recomendadas en la región.

En los lotes de experimentación se seleccionaron 10 sitios en la campaña 2014 y 9 sitios en la campaña 2015. En todos los sitios se establecieron parcelas apareadas con dos tratamientos: el manejo del productor, donde se condujo el cultivo con una fertilización de 70 kg N $ha^{-1}$ , y en forma adyacente se ubicaron parcelas en condiciones de N no limitantes donde para esto se aplicaron dosis de 230 kg N $ha^{-1}$, 48 kg P $ha^{-1}$ y 30 kg S $ha^{-1}$.

Durante el crecimiento del cultivo se realizaron determinaciones de biomasa área total en inicio de elongación mediante muestreos destructivos de 0,5 $m^{-2}$ por parcela. En los momentos de muestreo se realizaron mediciones de NDVI con un sensor Green Seeker ®. El rendimiento en granos se evaluó mediante cosecha y trilla manual de muestras de 2 $m^{-2}$ y fue expresado a una humedad de 8.5%. Las muestras de granos se secaron y molieron para la determinación del contenido de N en granos, mediante el método de Dumas.

Los resultados obtenidos se analizaron mediante regresiones lineales simples, potenciales y modelos segmentados (lineal –plateu), utilizando para ello el software INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones experimentales evaluadas representan ambientes edáficos y climáticos característicos de la región, con notables diferencias espaciales en la productividad de biomasa durante el crecimiento inicial de los cultivos. La variabilidad en el crecimiento inicial observado a campo en condiciones de manejo del productor y sin limitación de N fue muy amplia para las dos campañas. Los valores de biomasa aérea variaron entre 2097 y 3795 kg $ha^{-1}$, y entre 313 y 4234 kg $ha^{-1}$ en 2014/15 y 2015/16, respectivamente (tablas 1 y 2).

**Tabla 1. Biomasa y NDVI a inicio de floración, rendimiento y concentración de N en grano para el manejo del productor y el tratamiento sin limitante nutricional para la campaña 2014.**

| | Manejo del productor | | | Sin limitante nutricional | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sitio | Biomasa kg $ha^{-1}$ | NDVI | Rendimiento Kg $ha^{-1}$ | Biomasa kg $ha^{-1}$ | NDVI | Rendimiento Kg $ha^{-1}$ |
| 1 | 3203 | 0.87 | 1477 | 2875 | 0.89 | 1410 |
| 2 | 2986 | 0.74 | 1095 | 3542 | 0.81 | 1764 |
| 3 | 3662 | 0.87 | 1506 | 2771 | 0.88 | 2068 |
| 4 | 2362 | 0.86 | 2443 | 3354 | 0.85 | 2752 |
| 5 | 2540 | 0.90 | 1409 | 2348 | 0.89 | 2124 |
| 6 | 2734 | 0.86 | 2057 | 3044 | 0.86 | 2309 |
| 7 | 2204 | 0.79 | 1391 | 3498 | 0.83 | 1916 |
| 8 | 2632 | 0.88 | 1862 | 3721 | 0.87 | 2466 |
| 9 | 2080 | 0.82 | 1847 | 2631 | 0.86 | 2386 |
| 10 | 3035 | 0.84 | 1911 | 3795 | 0.86 | 2317 |

Las condiciones de siembra y precipitaciones tempranas durante el ciclo del cultivo en 2014 explicarían las

menores diferencias entre sitios observadas en 2014 (Tabla 1). La biomasa inicial fue en promedio 414 kg $ha^{-1}$ y 1595 kg $ha^{-1}$ menor para los manejos de productor y sin limitación de N en la primera y segunda campaña de evaluación, respectivamente (tablas 1 y 2).

**Tabla 2. Biomasa y NDVI a inicio de floración, rendimiento y concentración de N en grano para el manejo del productor y el tratamiento sin limitante nutricional para la campaña 2015.**

| | Manejo del productor | | | Sin limitante nutricional | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sitio | Biomasa kg $ha^{-1}$ | NDVI | Rendimiento Kg $ha^{-1}$ | Biomasa kg $ha^{-1}$ | NDVI | Rendimiento Kg $ha^{-1}$ |
| 1 | 2129 | 0.76 | 2610 | 3653 | 0.82 | 3079 |
| 2 | 800 | 0.66 | 1721 | 3034 | 0.84 | 3574 |
| 3 | 1350 | 0.55 | 1721 | 2961 | 0.83 | 3546 |
| 4 | 2395 | 0.75 | 1653 | 3979 | 0.83 | 3082 |
| 5 | 3005 | 0.83 | 2234 | 4050 | 0.85 | 2264 |
| 6 | 1195 | 0.51 | 920 | 1579 | 0.79 | 2950 |
| 7 | 879 | 0.52 | 1741 | 2100 | 0.77 | 3155 |
| 8 | 916 | 0.52 | 1728 | 4234 | 0.80 | 3693 |
| 9 | 313 | 0.54 | 1299 | 1750 | 0.79 | 3305 |

Los rendimientos explorados en este trabajo representan adecuadamente el rango de resultados observados en condiciones productivas de la región central de Argentina. Los rendimientos con el manejo del productor variaron entre 920 y 2610 kg $ha^{-1}$ para las dos campañas. De manera similar, los rendimientos observados tanto para manejo del productor como para la condición sin limitación de N fueron muy variables dentro y entre los sitios, con rendimientos máximos superiores a los normalmente obtenidos en lotes comerciales de la región cuando se removió la limitación de N. El rango de variación en los rendimientos en condiciones no limitantes de N fue mayor en la primera campaña, donde variaron entre 1410 y 2752 kg $ha^{-1}$. En la segunda campaña, con mejores precipitaciones durante el periodo de floración y mayores rendimientos medios, las diferencias entre el valor mínimo y máximo de rendimiento para la condición sin limitación de N, excepto un sitio, fueron menores entre 2950 a 3693 kg $ha^{-1}$.

El NDVI medido en inicio de elongación de tallo se relacionó con la biomasa medida en dicho estadio con una función exponencial ($r^2$=0.67) (figura 1). Similares relaciones han sido determinadas anteriormente para trigo (Lukina et al., 2001). Al estimar el crecimiento en biomasa es factible estimar también el rendimiento alcanzable por los cultivos, tal como plantean trabajos de Raun et al., (2005) y Shanahan et al., (2008) en cereales.

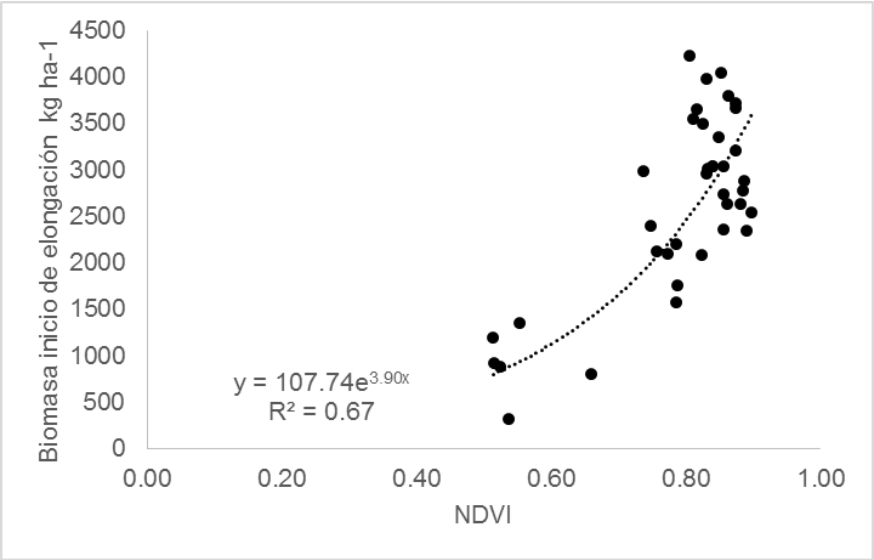



**Figura 1. Relación entre la biomasa del cultivo a inicios de elongación y el NDVI medido con un sensor Green Seeker al estadio de inicio de elongación en canola.**

La biomasa relativa a inicio de floración, determinada como el cociente entre la biomasa aérea alcanzada bajo la condición sin limitación nutricional y la biomasa aérea alcanzada bajo el manejo del productor, se relacionó con la respuesta en rendimiento observada, calculada como la diferencia entre el rendimiento bajo la condición sin limitación nutricional y el rendimiento bajo el manejo del productor. Esta relación fue de tipo lineal y meseta ($r^2$= 0,58, p<0,001) (figura 2) y permitiría estimar la respuesta del cultivo a la fertilización para condiciones similares a las exploradas en este trabajo.

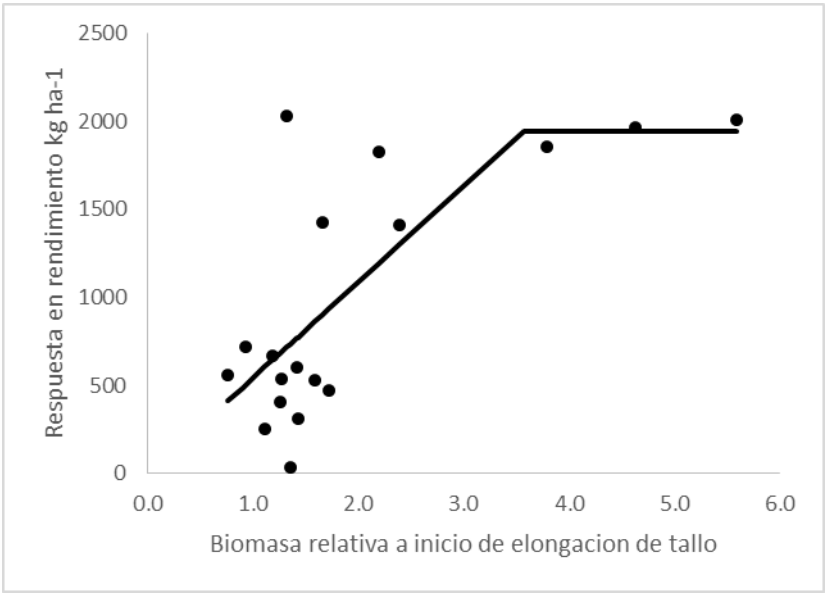



**Figura 2. Relación entre el cociente de la biomasa en la condición sin limitante nutricional y el manejo del productor y el cociente del rendimiento del cultivo de canola sin limitante nutricional y el manejo del productor. (Si Biomasa relativa < 3.6, Respuesta = 544 x (Biomasa relativa), Si Biomasa relativa > 3.6, respuesta = 1941 kg $ha^{-1}$). ($R^2$ = 0.58, p<0,001)**

No fue factible obtener una relación directa entre mediciones tempranas de NDVI a inicios de elongación de tallo, cuando sería oportuno realizar refertilizaciones con N, y el rendimiento del cultivo. Sin embargo se pudo determinar una relación directa ($R^2$ = 0.72) entre el índice de respuesta en NDVI, calculado como el

cociente entre el NDVI de la condición sin limitación de N y el NDVI del manejo del productor, y el índice de respuesta en rendimiento (IRR), calculado como el cociente entre el rendimiento de la condición sin limitación de N y el rendimiento del manejo del productor, de manera similar a lo reportado por Arnall et al., (2008). Estos resultados pueden explicarse a partir de la afirmación que el IRR es independiente del rendimiento como plantean Raun et al., (2010) y Arnal et al., (2013).

Se propone un método alternativo para estimar requerimientos de refertilización en base a mediciones tempranas de NDVI a inicios de elongación, que determinan diferencias de crecimiento inicial en el cultivo de canola y se vinculan de manera directa con la respuesta en rendimiento. De manera similar a lo reportado por Raun et al. (2005), se utilizan parcelas o franjas de referencia sin limitación de N. Asimismo, podrían estimarse condiciones de alta productividad mediante el uso de referencias virtuales calculadas a partir de los percentiles superiores de la distribución de frecuencia de datos observados de NDVI dentro de los lotes, como sugieren Holland y Schepers (2010).

De acuerdo a esto, se plantea la siguiente la secuencia de pasos válida para canola primaveral de ciclo corto, en condiciones de secano y niveles de productividad similares a los explorados en este trabajo:

1. Lecturas de $NDVI_{(1)}$ en parcelas de referencia.
2. Lecturas de $NDVI_{(2)}$ en sitios a fertilizar.
3. Estimación de biomasa a partir de la medición de $NDVI_{(1)}$ y $NDVI_{(2)}$ según ecuación en figura 1, $B\text{-}_{NDVI\ (1)}$ y $Biom_{\ NDVI\ (2)}$, respectivamente
4. Estimación de la respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada de canola en base al cálculo de biomasa relativa $BR = B\text{-}_{NDVI\ (1)} / Biom_{\ NDVI\ (2)}$, y ecuación en figura 2.
5. Calculo de la dosis de fertilización. Dosis de N = Respuesta estimada en rendimiento * % de N en granos/ Eficiencia de Uso de esperada.

El porcentaje de N en grano requerido para calcular la dosis de fertilización se determinó de manera complementaria en los experimentos. El contenido medio de N en granos de colza fue significativamente mayor cuando el N no fue limitante (3.74% N), respecto al determinado en granos con manejo del productor (3.26% N). Así, en los cálculos de los requerimientos se propone utilizar el valor observado para la condición sin limitación de N.

Los resultados obtenidos demuestran la elevada respuesta del cultivo de canola a la fertilización nitrogenada. La respuesta al agregado de N se evidencia tempranamente en el estadio de inicio de elongación de tallo, donde es factible realizar refertilizaciones mejorando el rendimiento. Las diferencias pueden cuantificarse mediante el uso de sensores ópticos y a partir de ellas estimar la limitación al crecimiento impuesta por la deficiencia de N y con esta la respuesta esperada a la fertilización nitrogenada en rendimiento.

A diferencia de otros algoritmos, éste se basa en la respuesta y su rango de validez dada la dependencia con la respuesta, es acotado a situaciones productivas similares, con rendimientos de hasta 3600 kg $ha^{-1}$, alcanzables en la región centro de Argentina. Como en otras aproximaciones, se requiere fijar una eficiencia de uso del N esperable, generalmente dependiente de las condiciones hídricas y las precipitaciones esperadas en el periodo post fertilización.

**RESUMEN Y CONCLUSIONES**

Existe fuerte variabilidad espacial en el crecimiento y rendimiento del cultivo de colza que puede cuantificarse mediante el empleo de sensores ópticos. Las diferencias de crecimiento en biomasa a inicios de elongación del tallo en el cultivo de colza permitieron estimar la respuesta a la fertilización del cultivo.

Se propone un método de cálculo de refertilización del cultivo de colza, basado en el uso de sensores ópticos, la determinación de biomasa a inicios de elongación de tallo y la respuesta a la refertilización nitrogenada en granos.

**AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la colaboración de Alfredo y Francisco Gutierrez propietarios del establecimiento. Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto PNAIyAV-1130023: “Tecnologías de agricultura de precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria” de INTA.

**REFERENCIAS**

D. B. Arnall, A. P. Mallarino, M. D. Ruark, G. E. Varvel, J. B. Solie, M. L. Stone, J. L. Mullock, R. K. Taylor, and W. R. Raun (2013). Relationship between Grain Crop Yield Potential and Nitrogen Response. Agronomy Journal. doi:10.2134/agronj2013.0034

D.B. Arnall, B.S. Tubaña, S.L. Holtz, K. Girma, and W.R. Raun. (2009). Relationship between Nitrogen Use Efficiency and Response Index in Winter Wheat. J. Plant Nutr. 32(3): 502–515.

D. Franzen, N. Kitchen, K. Holland, J. Schepers, and W. Raun. (2016). Algorithms for in-season nutrient management in cereals. Agron. J. doi: 10.2134/agronj2016.01.0041

C.A. Grant, S.S. Mahli and R.E. Karamanos. (2012). Sulfur management for rapeseed. Field Crops Research 128: 119–128.

L. Iriarte, and O. Valetti. (2008). Cultivo de colza. Chacra Experimental Integrada Barrow Convenio MAAyP-INTA. P. 152.

E. V. Lukina, K. W. Freeman a , K. J. Wynn a , W. E. Thomason a , R. W. Mullen a , M. L. Stone b , J. B. Solie b , A. R. Klatt a , G. V. Johnson a , R. L. Elliott a & W. R. Raun a. (2001) Nitrogen fertilization optimization algorithm based on in-season estimates of yield and plant nitrogen uptake. doi: 10.1081/PLN-100103780.

Melchiori R.J.M., Coll, L. y P.A. Barbagelata. (2012). Diagnóstico de la fertilización con nitrógeno y azufre para el cultivo de colza en Entre Ríos. Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata.

Melchiori, R. 2010. Advances in the Use of Remote Sensors in Argentinean Agriculture. Better Crop. 94(3): 21–23.

R.M. Norton, (2016). Nitrogen management to optimise canola production in Australia. Crop Pasture Sci. 67(3–4): 419–438.

K. Orlovius K. (2003). Oil seed rape. In: E. A. Kirbky (ed), Fertilizing for High Yield and Quality, Bulletin 16. IPI, Basel.

I. Pahlmann, U. Böttcher, and H. Kage. (2017). Developing and testing an algorithm for site-specific N fertilization of winter oilseed rape. Comput. Electron. Agric. 136: 228–237 Available at http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169916305786

W.R. Raun, J.B. Solie, M.L. Stone, K.L. Martin, K.W. Freeman, R.W. Mullen, H. Zhang, J.S. Schepers, and G. V. Johnson. (2005). Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 36(19–20): 2759–2781.

W. R. Raun • John B. Solie • Marvin L. Stone (2010). Independence of yield potential and crop nitrogen response. Precision Agriculture. DOI 10.1007/s11119-010-9196-z

J.F. Shanahan, N.R. Kitchen, W.R. Raun, and J.S. Schepers. (2008). Responsive in-season nitrogen management for cereals. Comput. Electron. Agric. 61(1): 51–62.

F. Solari, J.F. Shanahan, R.B. Ferguson, and V.I. Adamchuk. (2010). An active sensor algorithm for corn nitrogen recommendations based on a chlorophyll meter algorithm. Agron. J. 102(4): 1090–1098.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

Secretaría de Agroindustria

Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# EVALUACIÓN DE ANALIZADOR Y MAPEADOR NIR DE LA CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNA EN TRIGO EN TIEMPO REAL INSTALADO EN COSECHADORA.

**D. Villarroel[1], Velez J. P.[1], Melchiori R.[2], Scaramuzza F.[1], Juan N.[3], Bragachini M.[1]**

villarroel.diego@inta.gob.ar; velez.juanpablo@inta.gob.ar; melchiori.ricardo@inta.gob.ar; scaramuzza.fernando@inta.gob.ar; juan.nestor@inta.gob.ar; bragachini.mario@inta.gob.ar;

[1] INTA EEA Manfredi, Córdoba. [2] INTA EEA Paraná, Entre Ríos. [3] INTA EEA Anguil, La Pampa.

[1- 2- 3] Proyecto Específico Tecnologías de Agricultura de Precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria.

**Trabajo presentado al Primer Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión (CLAP2018) - 11 al 13 de abril 2018 - Santiago, Chile**

***RESUMEN.*** *El trigo duro (Triticum aestivum L.), es un importante cultivo de Argentina y su concentración de proteína es un determinante de su valor económico debido a que de ella depende la calidad industrial del grano. Pero lograr consistentemente una alta proteína requiere abordar la variabilidad espacial de los parámetros que la definen.*

*Actualmente el análisis cuantitativo de la concentración de proteína del grano entero se realiza a través de un muestreo en los elevadores y terminales de grano por medio de espectroscopia por infrarrojo cercano (NIR).*

*En este estudio el objetivo principal fue evaluar y validar un equipo NIR para cosechadoras desarrollado en Argentina, denominado Grain-Q que toma muestras regularmente y adquiere los espectros por reflectancia.*

*El sistema está definido por tres componentes específicos: Sensor de Línea (I), ubicado en la noria de elevación del grano limpio de la cosechadora; la unidad espectrométrica TEC-NIR (II), y el Software (III) que a través de una interfaz gráfica refleja los resultados de las mediciones en una consola. Cada dato es georreferenciado por medio del GPS, permitiendo la generación de un mapa de calidad de grano.*

*La recolección de datos se realizó sobre 2 lotes de trigo duro de diferentes superficies y en distintos años, ubicados en el INTA EEA Manfredi, Córdoba y el INTA EEA Paraná, Entre Ríos. Al mismo tiempo y en forma manual, junto a la cosechadora, dos técnicos recolectaban muestras ya analizadas y georreferenciadas por el equipo en el momento de la cosecha. Dichas muestras fueron luego analizadas en laboratorio con equipo NIR FOSS DS-2500.*

*El análisis de los datos generados por ambos equipos mostró una relación lineal en un amplio rango de valores de proteína, con una alta correlación (R2 = 0,87) y un error cuadrático medio de predicción (ECMP) de 0,15. Estos datos comprueban la confiabilidad y estabilidad del equipo Grain-Q para estimar la proteína del grano en tiempo real, aún en condiciones adversas de medición.*

***Palabras clave.*** *proteína, calidad de grano, segregación, Triticum aestivum L., NIR, ambiente, Grain-Q.*

## INTRODUCCIÓN

El trigo duro (Triticum aestivum L.), es un importante cultivo de Argentina y su concentración de proteína es un determinante de su valor económico debido a que de ella depende la calidad industrial del grano. Actualmente el pago por calidad del grano se realiza en base al contenido de proteína aplicándose bonificaciones a todo trigo que supere el 11% (Resolución 1262/04 de SAGPyA). Por otro lado, los molinos aplican bonificaciones por gluten húmedo por encima de 27% lo que se logra con trigos de aproximadamente 12% de proteína. También suelen realizarse contratos con molinos o empresas que clasifican trigo y exportan clasificado con garantía de calidad (Cuniberti, 1999).

En el país se cultivan unas 3,44 millones de hectáreas de trigo duro con un rendimiento promedio de 2.9 tn/has (BCR), pero lograr consistentemente una alta proteína requiere abordar la variabilidad espacial de los parámetros que la definen.

La concentración de proteínas en trigo varía en función de la genética, del manejo (densidad y época de siembra, fertilización, control de plagas, etc.) (Goos 1962) y de varios factores agroecológicos. Éstos últimos varían no sólo en forma interanual debido principalmente al clima, sino que también varían dentro del mismo lote en función de las propiedades edáficas, lo que produce que el desarrollo del cultivo muestre variaciones sitio-específicas que se manifiestan en la variabilidad del rendimiento, el cual tiene un impacto directo sobre el contenido de proteína (Stewart, 2002, Whelan 2009).

Actualmente el análisis cuantitativo de la concentración de proteína del grano entero se realiza a través de un muestreo en los elevadores y terminales de grano por medio de espectroscopia por infrarrojo cercano (NIR). Con el surgimiento del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y los sensores de rendimiento en cosechadoras, existe la posibilidad de adaptar la espectroscopia NIR a este tipo de maquinaria (Long et al. 2005a, Long et al. 2005b; Long et al 2008) y conocer la variabilidad de la calidad del grano de trigo en cosecha y en tiempo real, lo cual es importante para diseñar tácticas que permitan optimizar la productividad ya sea segregando el grano en función de la calidad (Marting et. al 2013, Meyer-Aurich et al. 2002), o en conjunto con el monitor de rendimiento cuantificar los niveles de extracción de Nitrógeno para planificar una dosificación variable de fertilizante (Long et al., 2000, Taylor et al., 2005, Engel, 1999).

En este estudio el objetivo principal fue evaluar y validar el funcionamiento de un equipo NIR para cosechadoras desarrollado en Argentina por la empresa TecnoCientífica®, denominado Grain-Q que toma muestras regularmente en el momento de la cosecha y los analiza por reflectancia. Se buscó (i) evaluar la precisión del sensor óptico para determinar la variabilidad de la concentración de proteína de grano en tiempo real, (ii) generar mapas de proteína combinando esta información con el posicionamiento por GPS.

## MATERIALES Y METODOS

Para realizar las mediciones y relevamiento a campo se utilizó un Sistema de Medición por emisión de Energía en el Infrarrojo Cercano georreferenciado OnLine modelo Grain-Q para cosechadoras.

El sistema está conformado principalmente por tres componentes específicos: Sensor de Línea (I), ubicado en la noria de elevación del grano limpio de la cosechadora (Figura 1) que a través de un sistema de carga y descarga permite el ingreso de los granos a la cámara de medición, donde son escaneados por un sistema mecánico que moviliza una lámpara de Tungsteno, sin entrar en contacto con el producto, emitiendo un haz de luz que realiza el barrido de lectura de la columna de muestra. En el flujo continuo de granos que pasa por la noria, las mediciones se realizan en lecturas secuenciales de una masa de 800g y cada ciclo tiene una duración que ronda los 18 segundos. La luz emitida por la lámpara pasa a través del grano muestreado, esta energía es absorbida por los mismos y da por resultado una imagen espectral en todo el rango de longitudes de onda en las que el detector del espectrómetro es sensible. El instrumento mide los espectros por reflectancia difusa en un rango de longitud de onda de 900 a 2100 nm, a intervalos de 3,5 a 4 nm. El sistema especial de escaneo acumula gran información espectral del producto, maximizando su representatividad y por medio de un cable de captación de fibra óptica transmite los espectros a la unidad espectrométrica TEC-

NIR (II), un gabinete ubicado dentro de la cabina de la cosechadora termoestabilizado y aislado para dispersor NIR que puede operar en un rango de temperatura de 3°C a 55° y con hasta 85% de humedad. El último componente lo conforma el Software (III) que a través de una interfaz gráfica refleja los resultados de las mediciones en una planilla Excel en el display de una consola, cada dato es georreferenciado por medio del GPS, permitiendo la generación de un mapa de calidad de grano.

**Figura 1: Instalación del Sensor de Línea en la noria de elevación de grano limpio de la cosechadora.**

**RECOLECCIÓN DE MUESTRAS A CAMPO.**

Para la tarea de cosecha y mapeo se utilizó una cosechadora modelo Don Roque 125, equipada con el analizador Grain-Q. La recolección de datos se realizó sobre 2 lotes de trigo duro de diferentes superficies y en distintos años, ubicados en el INTA EEA Manfredi (Pcia. de Córdoba), y el INTA EEA Paraná (Pcia. de Entre Ríos).

Al mismo tiempo y en forma manual, junto a la cosechadora, dos técnicos recolectaban muestras ya analizadas y georreferenciadas por el equipo en el momento de la cosecha (Figura 2). El mismo grano que era analizado por el sensor era recuperado hacia el exterior de la cámara de medición a través de una intervención en la compuerta de retorno de grano hacia el flujo de cosecha de la noria. Este material recolectado, georreferenciado e identificado luego sería enviado a analizar a Laboratorio en condiciones controladas. Las muestras fueron recolectadas entre una pasada y otra de la cosechadora y aproximadamente a 30 metros distantes entre sí, por lo tanto cada muestra manual estuvo ligada a la lectura realizada por Grain Q.

**Figura 2: Proceso de recolección manual de muestras analizadas por Grain-Q para correlacionar con valores obtenidos del estudio en Laboratorio de Calidad de Semilla de INTA Anguil.**

**ANÁLISIS EN LABORATORIO.**

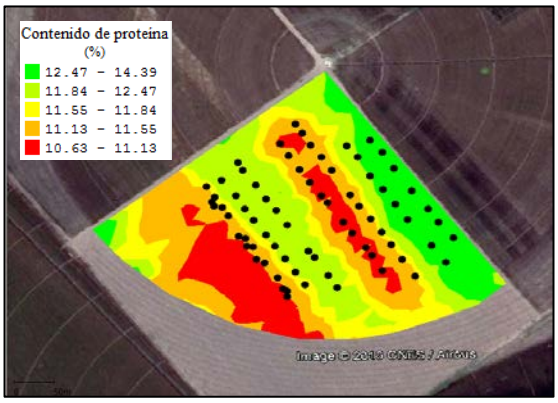
Para esta prueba, 227 muestras de grano fueron recogidas de manera manual desde el sensor de la cosechadora, para luego ser analizadas en el laboratorio de Calidad de Forrajes y Alimentos de INTA Anguil (Pcia. de La Pampa) utilizando un equipo NIR FOSS DS-2500 para grano entero. Tanto para los datos de laboratorio como a nivel cosechadora se expresaron las concentraciones de proteína sobre una base de 13,5% de humedad.

**RESULTADOS**

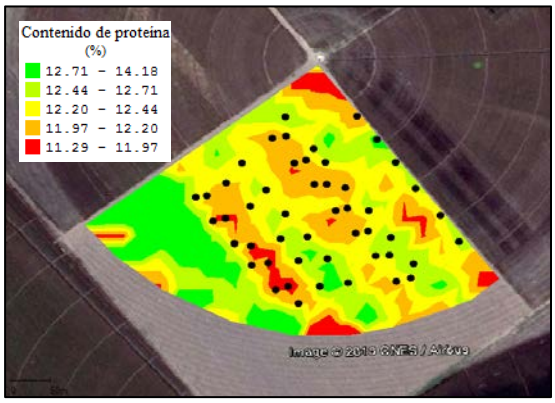
A partir de los datos generados por el sistema Grain-Q en las campañas de cosecha 2014 y 2016, comparados con los valores obtenidos en el laboratorio de Calidad de Forrajes y Alimentos de INTA Anguil, se aplicaron análisis estadísticos mediante coeficiente múltiple de determinación (R2) y el error cuadrático medio de predicción (ECMP) utilizando el Software InfoStat.

Los estudios consistieron en comparar un número representativo de muestras de cada lote con variabilidad interanual y en distintas latitudes agroecológicas.

La variabilidad en el contenido de proteína se ve reflejado en los mapas obtenidos; en la EEA Manfredi (Figura 3) se puede apreciar el efecto generado por el historial de manejo del lote, definido principalmente por ensayos de diferentes materiales genéticos y franjas de fertilización. En tanto que en la EEA Paraná (Figura 4) la respuesta en el contenido de proteína reflejado en los ambientes está dado por el manejo en curvas de nivel definidas principalmente por el relieve del terreno.

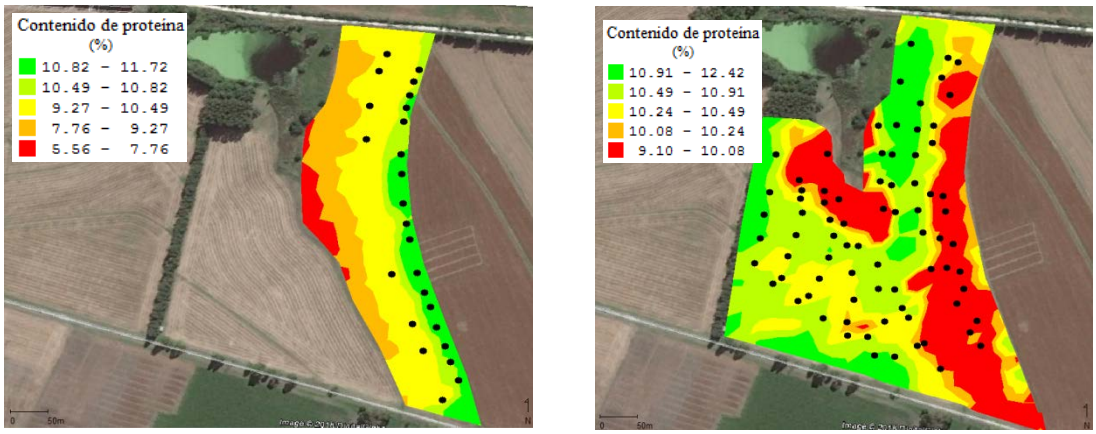



**a) Campaña 2014.**




**b) Campaña 2016.**

**Figura 3: Puntos de correlación de muestreo sobre el mapa de proteína generado por el sistema Grain-Q en lote de EEA INTA Manfredi, Córdoba.**




**a) Campaña 2014.** **b) Campaña 2016.**

**Figura 4: Puntos de correlación de muestreo sobre el mapa de proteína generado por el sistema Grain-Q en lote de EEA Paraná, Entre Ríos.**

El lote ubicado en la EEA Manfredi está conducido bajo un sistema de riego complementario por pivote central, en tanto que el lote cosechado la EEA Paraná, se encuentra bajo secano. A causa de ello y sumado a la variabilidad interanual del cultivo, más las distintas latitudes agroecológicas en la que se encuentran los lotes evaluados, se aprecia la amplitud en los valores de proteína, lo cual genera un efecto positivo al momento de analizar estadísticamente los datos.

A partir de los valores expresados por Grain-Q versus las mismas muestras analizadas en el laboratorio se corrió la regresión lineal simple con el modelo:

$$Y' = a + bX \qquad (1)$$

Donde:

Y´ es el valor estimado de y para distintas x

a es la intersección o el valor estimado de y, cuando X es igual a cero

b es la pendiente de la recta, o el cambio promedio de Y´ para cada cambio en unidad de X

El modelo arrojo un diagrama de dispersión (Gráfico 1) que muestra una fuerte correlación lineal en un amplio rango de valores de proteína con un (R2 = 0,87) y el error cuadrático medio de predicción (ECMP) de 0,15. Esto expresa la confiabilidad y estabilidad de lo analizado por Grain-Q instalado en la cosechadora, lo que fue corroborado en condiciones controladas de laboratorio.

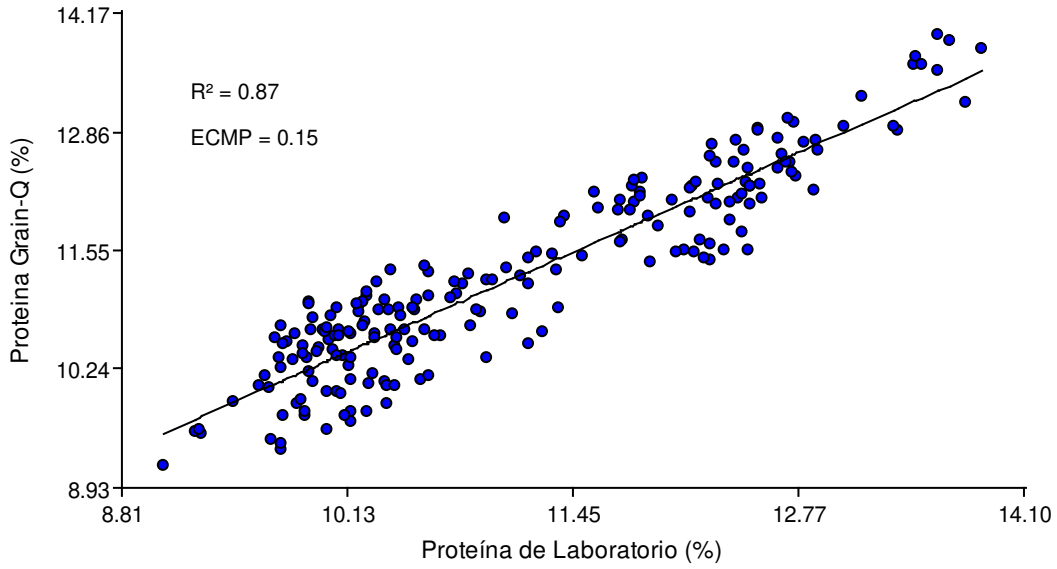



**Grafico 1: Correlación entre los valores de proteína (%, base 13,5% humedad) obtenidos por el analizador NIR Grain-Q y la misma muestra analizada en laboratorio con analizador NIR FOSS DS-2500. n: 227**

## CONCLUSIÓN

Luego de varios años de trabajo, adaptación y validación de la tecnología, es posible afirmar que los resultados obtenidos en la campaña 2014/16 expresan una alta correlación entre los datos generados por el sensor analizador NIR Grain-Q montado en la cosechadora y los mismos analizados en laboratorio.

La alta correlación expresada por los datos analizados destaca la confiabilidad del equipo ante condiciones adversas de medición. Se debe considerar que el sensor analiza las muestras y arroja el resultado de manera constante y en condiciones propias de cosecha, como altas temperaturas, humedad, vibraciones, suciedad en el material, lo cual puede influir negativamente en la precisión del instrumento cuando se utiliza en la cosechadora.

Por lo tanto, es una herramienta, que además de generar un mapa georreferenciado de calidad, permite plantear diferentes estrategias de manejo con el fin de segregar el grano según su nivel de proteína, planificar para futuros cultivos una fertilización diferenciada por sitios, y analizar diferentes materiales genéticos que mejor se adapten a los distintos ambientes en función de la calidad.

## AGRADECIMIENTOS

A la empresa Argentina TecnoCientífica®, desarrolladora del sistema, por ceder el sensor de Calidad de Granos Grain-Q para hacer las pruebas necesarias de validación.

## REFERENCIAS

BCR. Bolsa de Comercio de Rosario (2016). Guía estratégica para el Agro. Estimaciones de Producción. Disponible en https://www.bcr.com.ar/Pages/GEA/estimaProd.aspx?idInforme=580

Cuniberti, M. B. 1999. Sugerencias para clasificar el trigo por calidad a nivel de productor y acopio. Hoja informativa. INTA. Marcos Juarez, 1999.

Engel, R.E., D.S. Long, G.R. Carlson, and C. Meier. 1999. Method for precision nitrogen management in spring wheat: I. Fundamental relationships. Precis. Agric. 1 :327–338.

Goos, R.J., D.G. Westfall, A.E. Ludwick, and J.E. Goris. 1982. Grain Protein Content as an Indicator of N Sufficiency for Winter Wheat. Agron. J. 74:130- 133.

Long, D.S., and T. Rosenthal. 2005. Evaluation of an on-combine wheat protein analyzer on Montana hard red spring wheat. p. 385–392. In Stafford J. et al. (ed.), Proc. 5th European Conf. Prec. Agric., Uppsala, Sweden. 9–12 June. Wageningen Academic Publ., Wagening

Long, D.S., R.E. Engel, and F.M. Carpenter. 2005. On-combine sensing and mapping of wheat protein concentration. Crop management. Available at http://www.plantmanagementnetwork.org /pub/cm/research/2005/protein/; verified 21 Sept. 2007.

Long, D.S., R.E. Engel, and M.C. Siemens. 2008. Measuring grain protein concentration with in-line near infrared reflectance spectroscopy. Agron. J. 100:247-252

Long, D.S., R.E. Engel, and G.R. Carlson. 2000. Method for Precision Nitrogen Management in Spring Wheat: II. Implementation. Precis. Agric. 2:25-38.

Martin, C.T., J.D. McCallum, and D.S. Long. 2013. A web-based calculator for estimating the profit potential of grain segregation by protein concentration. Agron. J. 105:721–726. doi:10.2134/agronj2012.0353

Meyer-Aurich, A., M. Gandorfer, A. Weersink, and P. Wagner. 2008. Economic analysis of site specific wheat management with respect to grain quality and separation by the different quality fractions. 2008 International Congress European Association Agricultural Economists, Ghent, Belgium. 26–29 Aug. 2008. http://purl.umn.edu/43649 (accessed 14 Sept. 2012).

SAGPyA. Resolución 1262/2004. Norma de Calidad para la Comercialización de Trigo Pan-Norma XX Trigo Pan. Disponible en www.sagpya.mecon.gov.ar.

Stewart, C.M., A.B. McBratney, and J.H. Skerritt. 2002. Site-specific durum wheat quality and its relationship to soil properties in a single field in Northern New South Wales. Precis. Agric. 3:155–168. doi:10.1023/A:1013871519665

Taylor, J., B. Whelan, and L. Thylén, M. Gilbertsson, and J. Hassall. 2005. Monitoring wheat protein content on-harvester-Australian experiences. p. 369–376. In J. Stafford et al (ed.) Proc. 5th European Conf. Prec. Agric., 9– 12 June. Uppsala, Sweden. Wageningen Academic Publ., Wageningen.

Whelan, B.M., J.A. Taylor, and J.A. Hassall. 2009. Site-specific variation in wheat grain protein concentration and wheat grain yield measured on an Australian farm using harvester-mounted on-the-go sensors. Crop Pasture Sci. 60:808–817. doi:10.1071/CP08343

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# COSECHADORAS: EL ÚLTIMO RESTYLING ESPERANDO UNA NUEVA GENERACIÓN DE COSECHADORAS

***Mario Bragachini, Federico Sánchez***
Estación Experimental Agropecuaria Manfredi del INTA, Manfredi, Manfredi, Córdoba, Argentina

## Novedades del Farm Progress Show 2018 realizado del 28 al 30 de agosto de 2018, en Boone, Iowa, EEUU

En un Farm sin novedades revolucionarias, se debe destacar al rubro cosechadoras de granos porque fue el que más primicias presentó por las mayorías de las empresas, donde la mayoría presentó mejoras en sus equipos.

Si bien las novedades en cosecha de granos observadas durante la 65ª edición del Farm Progress Show 2018 se dirigieron al automatismo y autorregulación de las máquinas, la gran revolución en cosechadoras parece estar reservada para 2019 y 2020.

En una visita realizada una de las fábricas más grande del mundo de cosechadoras, nos encontramos con la noticia de que dicha planta estaba terminando la construcción de las últimas unidades programadas para este 2018 e inicia inmediatamente un proceso de reestructuración de un nuevo proceso productivo para la construcción de un nuevo modelo que será lanzado en 2019/2020.

Si bien es un secreto, en los pasillos se comentaba que es la restructuración de la planta para la fabricación de una cosechadora de nueva generación, totalmente eléctrica/hidráulica con una capacidad de trabajo y ancho de labor muy superior a lo conocido hasta el momento, la cual ya se viene probando a campo desde hace algunos años pero por el descenso del precio de los granos su lanzamiento se viene posponiendo.

Aparentemente, estamos a las puertas de una nueva generación de cosechadoras, donde como ya sucedió con las sembradoras donde los motores eléctricos fueron adoptados por los nuevos modelos, ahora esto sucederá con las cosechadoras sin cadenas, correas, y engranajes.

Si bien se habla de una nueva generación de máquinas, la receta para lograr una mayor capacidad de trabajo parece continuar con la evolución que hemos conocido hasta el momento, máquinas más grandes, con más potencia (800 CV), con dos motores diesel y mayor ancho de labor (quizás más de 60 pies de ancho de trabajo).

Estos modelos evolucionan, no tendrán más mandos por cadenas y correas, sino que serán todos eléctricos, abastecidos por uno o dos motores diesel que generan energía eléctrica en mecánica y por un sistema de transmisión inteligente que se basa en el uso de sensores. Solo la transmisión de avance y el mando de los rotores de trilla y separación serán hidráulicos, el resto serán eléctricos.

Como pasó con los modelos presentados en este 2018, se continúa con la línea de desarrollos en autorregulación y autocomando, trabajando en coordinación con el tractor y la tolva no comandada por operarios, sino que receptará las órdenes que le indica la cosechadora. La descarga de tolva irá hacia sistemas de cinta telescópica. La era de electricidad inteligente y los robots, ya llegó a la cosecha de granos.

Como común denominador de las máquinas que se mostraron este año se puede mencionar una cosechadora que mediante sensores puede adaptarse y modificar su prestación de acuerdo a las condiciones de cultivo y terreno, con autorregulación de trilla y sistema de limpieza y autocalibración de monitores de rendimiento, mayor capacidad de trabajo, nuevos cabezales, reducción de pérdidas, gran mejora en el manejo de datos con mucha telemetría y conectividad con grabación de datos, no solo de rendimiento sino también de humedad del grano y calidad de trilla, separación y limpieza.

La principal atracción de este Farm Progress Show 2018 fue el lanzamiento de la nueva cosechadora Agco Fendt Ideal en Estados Unidos (ya fue lanzada el año pasado en Agritechnica en Alemania), luego de 8 años de desarrollo. Cuenta con 650 hp en su versión T9, se convirtió en la cosechadora más potente del mercado y cabezal de 45 pies. También está disponible en las clases 7 y 8 y puede ser equipadas con cabezal draper que según modelo van desde los 30 a los 40 pies. Seguramente en Argentina, será MF y Challenger.

Este modelo establece un nuevo estándar para la automatización, estas máquinas ofrecen visualización en tiempo real del flujo del cultivo dentro de la cosechadora. Una combinación de sensores especializados determina qué es grano y qué es material no grano y ordena al sistema que se autorregule. Estos ajustes se realizan automáticamente sobre la marcha para mantener los parámetros de cosecha establecidos, para minimizar el daño del grano y las pérdidas. Además, el sistema compensa los cambios repentinos tales como la densidad de cultivo y la pendiente del campo, ajustándose para mantener el rendimiento de la máquina y la calidad del grano.

En cuanto al sistema de trilla y separación, está compuesto por un doble rotor de 24 pulgadas de diámetro y casi 16 pies de largo. Los modelos de clase 8 y 9 usan dos rotores de doble hélice que proporcionan 43.7 pies cuadrados de área de trilla. La clase 7 está equipada con un solo rotor.

La tendencia hacia el mayor automatismo con autorregulación de los equipos independientes a la destreza y conocimiento del maquinista se vio reflejada en la presentación de las nuevas series 250 y 150 de Case IH, las cuales presentan un sistema de ajuste interactivo también llamado que permiten el ajuste automático de diferentes parámetros como calidad del grano, pérdidas y limpieza durante la cosecha de granos.

La principal novedades que presenta la serie 250 de Case IH es un sistema de vaners que van ubicados en el techo del rotor que según su posición permite acelerar o disminuir el flujo de

pasaje del material, el cual se regula automáticamente según la información que le envía la central electrónica de la calidad de grano, pérdidas y torque del motor.

Otra gran novedad estuvo en el stand de John Deere, donde la línea 700 presentada el año pasado que posee un sistema de autorregulación a partir de la incorporación de un sistema de cámaras que detectan limpieza de grano y nivel de rotura del mismo, se destacó porque la línea 2019 incorporará orugas de caucho desarrolladas por la propia empresa. Seguramente, por lo presentado por John Deere, Agco y Claas, se puede afirmar que la oruga ya se consolida en las máquinas clase 8, 9 y 10, brindando mayor flotación y menor compactación al disminuir la presión que ejercen estos grandes equipos sobre el piso.

Por el lado de Claas, la línea Lexion, se destacó por presentar un sistema de refrigeración del grupo, motor, aire acondicionado y la parte hidráulica con soplado desde arriba hacia abajo, o sea genera una contra corriente que evita el ingreso de material (peligroso por combustión) al motor; una excelente solución.

Además, presentó un nuevo cabezal draper denominado Convio en versiones rígidas (con ruedas estabilizadoras, cuchillo lateral y sinfín de apoyo para colza y cereales de invierno) y flex de 225 mm (para soja y leguminosas) con opciones de 35, 40 y 45 pie.

Otra novedad el cabezal con molinete triple articulado de la firma Geringhoff expuesto sobre cosechadoras de distintas marcas en la mega muestra. Es el único articulado en 3 secciones que a su vez cuenta con barra flexible flotante, mando de cuchilla central hidrostático, 3 molinetes y ofrecido en Europa con equipo de aire para un soplado por detrás de la barra de

corte, aunque semillas finas y livianas se van. También está firma, presentó un nuevo cabezal de maíz con punto es a, 50cm que junto a Nueva disposición de cadenas, cosecha maíz en cualquier distancia entre hileras.

En cabezales maiceros, la firma 360 presentó un cepillo que corre debajo de las cadenas acarreadoras en los cabezales maiceros y que generaría un sellado del espacio por encima de las chapas espigadoras de modo que logra recuperar los granos desprendidos de la espiga reduciendo así las pérdidas por cabezal debidas al desgrane.

Este sistema merece todavía pruebas de funcionamiento y durabilidad del cepillo, como así también el análisis de su costo beneficio ya que la planta debe bajar entre el cepillo traccionada por los rolos del maicero.

Mainero volvió a presentar su cabezal MDD100 multi dirección y multi distanciamiento. La firma ha logrado gran reconocimiento mundial por este producto y las ventas, tanto en el exterior como en el mercado interno, han sido exitosas.

El Farm 2018 tuvo muchas novedades de agropartistas de orugas, de nuevos neumáticos radiales, de pisa-tallo, de cámaras de visión, de equipamiento de triturado de rastrojo, de cabezales maiceros, de nuevos rotores con kit de cóncavo y barras trilladoras, todo equipamientos de barra de corte y levantamieses y por supuesto todo lo electrónico de autoguía de conducción y monitores de rendimientos, scaners de grano limpio y retorno. Mucho de eso ya viene en las cosechadoras equipadas desde fábrica como equipo estándar.

En conclusión las cosechadoras a nivel global están frente a un cambio hacia el sensoramiento, el automatismo, la conectividad de información y la telemetría, van camino a convertirse casi en un robot de  cosecha que se autorregula. Por esto se anticipa un 2019 con muchas grandes novedades en el rubro cosecha.

INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

NEW HOLLAND AGRICULTURE

PLM PRECISION LAND MANAGEMENT

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# MANEJO VARIABLE DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y NITRÓGENO EN MAÍZ

**Estéfano Y. Kunzi[1], Victor E. Senkman[2], Nicolás E. Maltese[1,3,4], Ricardo J. M. Melchiori[3]**

[1]Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta 11 km 10.5, Oro verde, Argentina

[2]Bayer Crop Science. TDR Equipo de Desarrollo Tecnológico de Monsanto Argentina S.A.I.C., Ruta 188 km 77, Pergamino, Argentina

[3]Estación Experimental Agropecuaria Paraná del INTA, Ruta 11 km 12.5, Oro Verde, Argentina

[4]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

kunziestefano@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

La productividad del cultivo de maíz esta comúnmente limitada por la disponibilidad de agua (Otegui et al 1995) y de nitrógeno (N) (Uhart and Andrade, 1995; Abe et al., 2013), a la vez que se ha demostrado que cambios en el manejo del cultivo como la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada, están fuertemente condicionados e interaccionan con el grado de disponibilidad o limitación en estos recursos (Boomsma et al., 2009; Yan et al 2017).

El ajuste de las prácticas de manejo para el cultivo de maíz como la densidad de siembra, provienen comúnmente de recomendaciones de alcance regional provistas por las empresas proveedoras de semilla. Así, la productividad y eficiencia de los esquemas agrícolas de maíz actuales se encuentra muchas veces limitada por la escasa información agronómica a nivel predial y más específicamente a nivel de lote. Ante esto, por lo general el productor toma decisiones de manejo uniforme en cuanto a la elección de la densidad de siembra y dosis de fertilización, aunque reconozca la existencia de variabilidad ambiental intralote. Este tipo de comportamiento, que expresa la aversión al riesgo, ha sido indicado por Whelan y McBratney (2000), como la respuesta más común de los productores ante la incertidumbre respecto a los manejos variables.

En los últimos tiempos, se han comenzado a generar herramientas para la prescripción de recomendaciones de manejos variables con la finalidad de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos e incrementar la productividad del sistema. Sin embargo, para realizar un manejo sitio específico del cultivo, resulta necesario recabar información precisa que integre datos de variables de suelo, meteorológicas y de la respuesta del cultivo permitiendo utilizar prácticas de manejo variables a escala de lote, como dosis variables en densidad de siembra y de fertilizante nitrogenado. Dichas herramientas son de gran relevancia, pero requieren ser validadas en diversidad de ambientes productivos y campañas.

En consecuencia, resulta relevante conocer el impacto de prácticas de manejo variables de siembra y fertilización sobre la productividad del cultivo de maíz. El objetivo del presente trabajo es generar información a escala de lotes comerciales sobre el efecto del manejo variable de la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, en comparación con un sistema de manejo uniforme tradicional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se condujeron dos experimentos a campo (Exp1 y Exp2) durante las campañas 2016/17 y 2017/18 en dos lotes de producción comercial de maiz, en el campo experimental de la EEA Paraná del INTA, localizado en Parana, Entre Ríos, Argentina (31° 50´ S, 60° 31´ O; 110,5 msnm).

Previo a la siembra de ambos Exps, se realizó una caracterización detallada de cada lote, la cual fue conformada por información proveniente de análisis de suelo realizados mediante muestreos en grilla, imágenes satelitales, mediciones de conductividad eléctrica aparente del suelo medida a partir de rastra Veris, y mapas de rendimiento de cultivos anteriores. Con las capas de información recabadas se delimitaron zonas de productividad diferencial a escala de lote.

En función de la ambientación preliminar se delimitaron 3 zonas diferentes, denominadas de baja, media y alta productividad. En ambos Exps se evaluaron cuatro tratamientos: i) Manejo del productor (MP), donde se empleó una densidad de siembra y fertilización con N uniforme ii) Densidad de siembra variable y dosis

de N variable, en un escenario de rendimiento potencial medio (PDK). iii) Densidad de siembra variable y fertilización con N uniforme. iv) Densidad de siembra y de fertilización con N variables en un escenario esperado de alta productividad. Sin embargo, en el presente trabajo solo se reportan los resultados correspondientes a los tratamientos más contrastantes: manejo del productor (MP) y prescripción variable Dekalb (PDK).

En el Exp1 las prescripciones variables y uniformes de semilla y N se dispusieron en franjas de 10 surcos de ancho, atravesando el mayor gradiente de variabilidad, para lo cual se dispusieron repeticiones en el sitio hasta alcanzar una superficie total de 16 ha. El Exp2 se realizó sobre un lote de producción de 11 ha, en el cual los tratamientos se dispusieron aleatoriamente en bloques de 40 x 40 m con variaciones de prescripciones dentro de los bloques de 10 x 10 m.

En el Exp1 se utilizó el hibrido DK72-10VT3P, mientras que en el Exp2 se utilizó el híbrido DK73-20 VT3P, aunque ambos genotipos no difieren marcadamente en cuanto a su potencial de rendimiento y ciclo de cultivo (https://cultivio.com/).

La instalación de los Exps se realizó utilizando maquinaria comercial. La siembra de ambos Exps se realizó con una sembradora neumática Giorgi Precisa 8000 equipada con sistema de dosificación variable para semilla y fertilizante Terra 5200. La fertilización nitrogenada se realizó con UREA incorporada al costado y por debajo de la línea de siembra. La cosecha se realizó utilizando una cosechadora Don Roque 125 Electro equipada con cabezal maicero Mainero de 8 surcos y monitor de rendimiento Plantium S-Box previamente calibrado.

Los resultados obtenidos se analizaron mediante regresiones lineales simples, correlaciones, pruebas de t y test de comparaciones de media (*LSD* Fisher) utilizando para ello el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2011).

**Figura A**. Sembradora neumática Giorgi Precisa 8000 equipada con sistema de dosificación variable para semilla y fertilizante Terra 5200.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las condiciones experimentales evaluadas representaron ambientes edáficos y climáticos característicos de la región, con notables diferencias espaciales en el suelo y en la productividad del cultivo a escala de lote.

Los registros de precipitaciones históricos y los registrados durante ambos Exps son mostrados en la Fig. 1. En el Exp1 las precipitaciones fueron menores a las normales en el mes de septiembre, sin embargo en los meses siguientes las mismas igualaron (octubre – noviembre) o superaron (diciembre – enero – febrero) el valor normal. Por el contrario, el Exp2 se caracterizó por presentar un escenario climático adverso desde el punto de vista de las precipitaciones, que no cubrió la demanda hídrica del cultivo durante todo su ciclo,

observándose un balance hídrico aparente negativo, particularmente en el periodo crítico alrededor de floración (*i.e*. ±15 d alrededor de R1), afectando así el crecimiento y productividad del mismo.

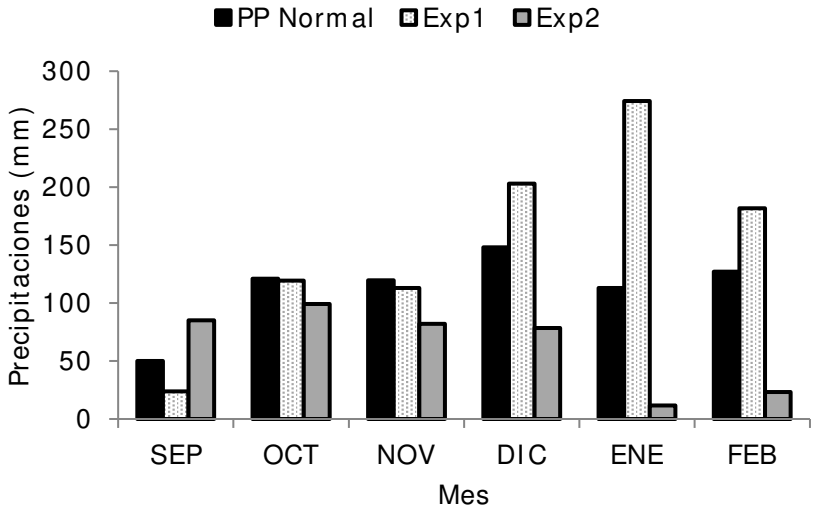



**Figura 1**. Precipitaciones mensuales correspondientes a los valores normales y los registros realizados en los Exp1 (2016-17) y Exp2 (2017-18) conducidos en la EEA INTA Paraná (31° 50´ S).

Los valores medios de densidad de siembra variaron entre Exps (Tabla 1 y 2). En el Exp1 la PDK presentó valores medios de densidad de siembra superiores a los del MP, mientras que en el Exp2 la PDK mostró menores valores medios de densidad de siembra comparado con el MP. Cabe aclarar que el mayor contraste entre tratamientos fue registrado en el Exp2 (*ca*. 6634 sem $ha^{-1}$), mientras que las diferencias en el Exp1 fueron menores (*ca*. 4495 sem $ha^{-1}$). Sin embargo, los rangos de variación de la densidad de siembra entre ambos Exps fueron similares.

En el Exp1 la PDK mostró valores medios de dosis de N levemente superiores (*ca*. +8 kg N $ha^{-1}$) comparado con el MP (Tabla 1). Por el contrario, el Exp2 mostró un mayor contraste entre tratamientos, donde la PDK presentó dosis superiores al tratamiento de MP (*ca*. 80 kg N $ha^{-1}$) (Tabla 2). Sin embargo, el rango de variación de dosis de fertilización con N fue más contrastante en el Exp1 (63 kg N $ha^{-1}$) que en el Exp2 (27 kg N $ha^{-1}$).

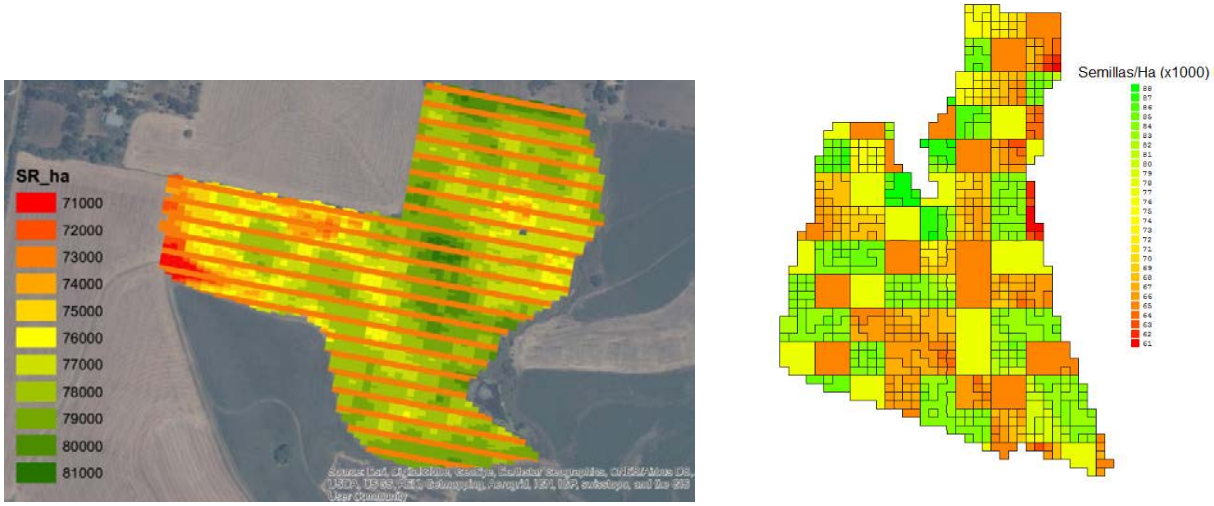
**Tabla 1**. Valores medios y rangos de variación de densidad de siembra y dosis de fertilización nitrogenada para tratamientos de manejo del productor (MP) y prescripción variable Dekalb (PDK) registrados en el Exp1 (2016-17) conducido en la EEA INTA Paraná (31° 50´ S).

| Tratamientos | Densidad media | Min | Max | Dosis de N | Min | Max |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | semillas $ha^{-1}$ | | | Kg N $ha^{-1}$ | |
| MP | 73000 | ---- | ---- | 69 | ---- | ---- |
| PDK | 77495 | 71000 | 81000 | 77 | 33 | 96 |

**Tabla 2**. Valores medios y rangos de variación de densidad de siembra y dosis de fertilización nitrogenada para tratamientos de manejo del productor (MP) y prescripción variable Dekalb (PDK) registrados en el Exp2 (2017-18) conducido en la EEA INTA Paraná (31° 50´ S).

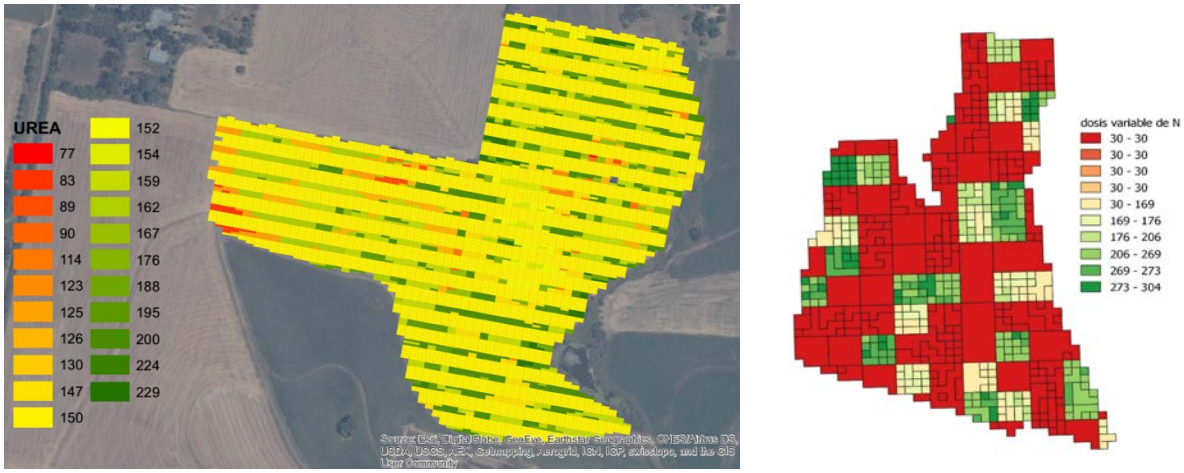
| Tratamientos | Densidad media | Min | Max | Dosis de N | Min | Max |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | semillas ha$^{-1}$ | | | Kg N ha$^{-1}$ | |
| MP | 77000 | ---- | ---- | 75 | ---- | ---- |
| PDK | 70666 | 67000 | 78000 | 155 | 145 | 173 |

La Fig. 2 muestra los mapas de prescripción para densidad de siembra en maíz que incluye los tratamientos de MP y PDK registrados en ambos Exps. Por otra parte, En la Fig.3 se pueden observar los mapas de prescripción para dosis de fertilización con N en maíz que incluyen los tratamientos de MP y PDK registrados en los Exp1 (Fig.3A) y Exp2 (Fig.3B). Es importante destacar las diferencias en la disposición de los tratamientos, donde en el Exp1 los mismos se dispusieron en franjas (Fig.2A y 3A), mientras que en el Exp2 los tratamientos fueron dispuestos en bloques de 40 x 40 m (Fig.2B y 3B).




**A** **B**

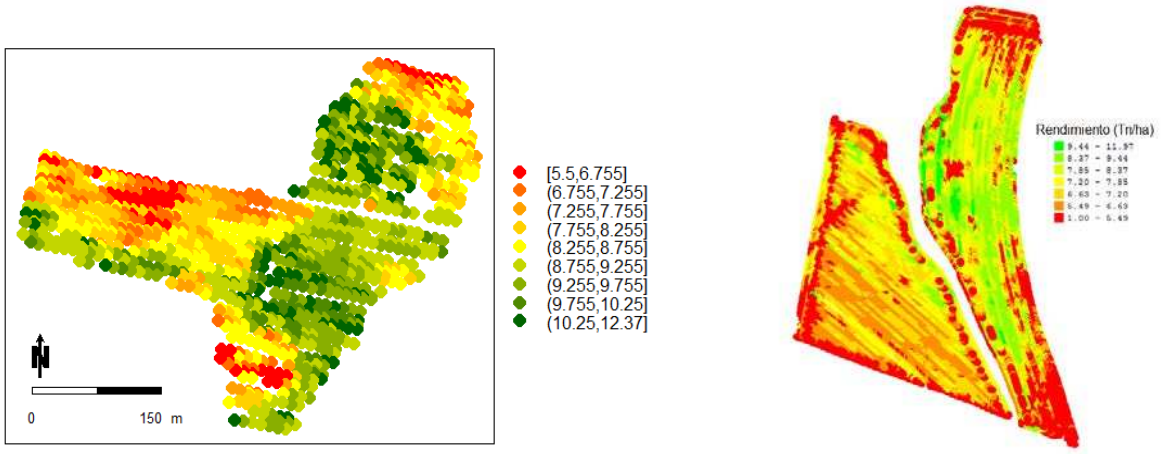
**Figura 2**. Mapas de prescripción para densidad de siembra en maíz que incluyen tratamientos de manejo del productor (MP) y prescripción variable Dekalb (PDK) registrados en los Exp1 (2016-17) (A) y Exp2 (2017-18) (B) conducidos en la EEA INTA Paraná (31° 50´ S).




**A** **B**

**Figura 3**. Mapas de prescripción para dosis de fertilización con N en maíz que incluyen tratamientos de manejo del productor (MP) y prescripción variable Dekalb (PDK) registrados en los Exp1 (2016-17) (A) y Exp2 (2017-18) (B) conducidos en la EEA INTA Paraná (31° 50´ S).

La Fig.4 muestra los mapas de rendimiento de maíz para los tratamientos de MP y PDK registrados en los Exp1 (Fig.4A) y Exp2 (Fig.4B). Ambos Exps mostraron rendimientos medios (Exp1 *ca*. 8.3 tn ha$^{-1}$ y Exp2 *ca*. 8.5 tn ha$^{-1}$) y rangos de variación similares (Exp1 *ca*. 6.8 tn ha$^{-1}$ y Exp2 *ca*. 6.6 tn ha$^{-1}$). Sin embargo, resulta importante destacar la variabilidad espacial del rendimiento observada a nivel de lote. Por otra parte, las PDK variables para densidad de siembra y dosis de fertilización con N (Fig.2 y 3) se asociaron espacialmente con los rendimientos obtenidos (Fig.4), indicando una adecuada zonificación de los lotes y prescripciones asociadas a los tratamientos.




**A** **B**

**Figura 4**. Mapas de rendimiento de maíz que incluyen tratamientos de manejo del productor (MP) y prescripción variable Dekalb (PDK) registrados en los Exp1 (2016-17) (A) y Exp2 (2017-18) (B) conducidos en la EEA INTA Paraná (31° 50´ S).

En la Fig.5A se pueden observar los valores medios de rendimiento para las zonas y tratamientos evaluados en el Exp1. El rendimiento medio de las zonas caracterizadas como de alta y media productividad fue mayor (en promedio 10.8 tn ha$^{-1}$) al observado en la zona de baja productividad (*ca*. 7.7 tn ha$^{-1}$). Sin embargo, interacción significativa de zona x tratamiento ($P$<0.05) fue detectada sobre el rendimiento. Las zonas de baja y alta productividad no tuvieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, mientras que en la zona de media productividad, el tratamiento de PDK fue significativamente mayor al MP.

Por otra parte, la Fig.5B muestra los valores medios de rendimiento para las zonas y tratamientos evaluados en el Exp2. Los tratamientos respondieron de manera diferente en las distintas zonas del lote (interacción de zona x tratamiento, $P$<0.05). La zona de productividad media fue la que logró los mayores rendimientos en grano. A su vez, ésta fue la que presentó el mayor rango de variación en rendimientos, comprendido entre 7 y 9 tn ha$^{-1}$. La zona de alta productividad mostró rendimientos entre 6.8 y 7.7 tn ha$^{-1}$. En esta zona el rendimiento promedio de MP (*ca*. 7.5 tn ha$^{-1}$) fue superior a la PDK (*ca*. 6.8 tn ha$^{-1}$). Finalmente, la zona de baja productividad fue la que presentó el rango de rendimientos más bajos, comprendidos entre 4.8 y 7.5 tn ha$^{-1}$. En esta zona los tratamientos de MP vs PDK no presentaron diferencias significativas.

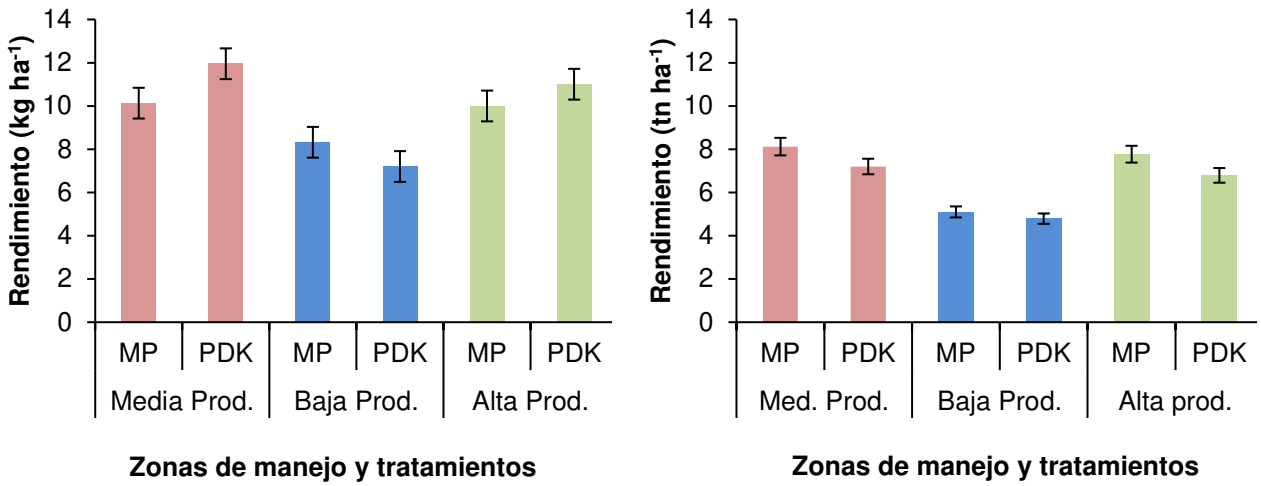



**Figura 5**. Valores medios de rendimiento de maíz para los tratamientos de manejo del productor (MP) y prescripción variable Dekalb (PDK) registrados en los Exp1 (2016-17) (A) y Exp2 (2017-18) (B) conducidos en la EEA INTA Paraná (31° 50´ S).

## CONSIDERACIONES FINALES

El rendimiento de los cultivos mostró importantes variaciones espaciales a nivel de lote en ambos Exps. El manejo variable de la densidad de siembra y fertilización con N mostró diferencias entre zonas de manejo y Exps. En general, en ambientes de baja productividad, las diferencias entre MP y PDK fueron nulas. Sin embargo, en ambientes de media y alta productividad, la PDK presentaron mayor rendimiento comparado con el MP. Por otra parte, resulta importante destacar que las ventajas de la PDK sobre el tratamiento MP fueron efectivas solo en la campaña en la cual el cultivo no presentó deficiencias hídricas marcadas (*e.g*. Exp1).

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del personal auxiliar del grupo de Recursos Naturales y Factores Abióticos de la EEA Paraná, a la Asociación Cooperadora de la EEA Paraná del INTA y a la empresa Monsanto. Este trabajo fue parcialmente financiado con fondos del proyecto PNAIyAV-1130023: “Tecnologías de agricultura de precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria” de INTA.

## REFERENCIAS

Abe, A., Adetimirin, V., Menkir, A., Moose, S., Olaniyan, A. 2013. Performance of tropical maize hybrids under conditions of low and optimum levels of nitrogen fertilizer application–grain yield, biomass production and nitrogen accumulation. Maydica. 58,141-150.

Boomsma, C. R., Santini, J. B., Vyn, T. J., AgroSciences, D. 2009. Maize plant competition in high plant density, high yield environments. In Proceedings of the 64th Annual Corn & Sorghum Industry Research Conference, American Seed Trade Association, Chicago, IL, United States.

Otegui, M. E., Andrade, F. H., Suero, E. E. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. Field Crops Res. 40, 87–94.

Uhart, S., Andrade, F. H. 1995. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. Crop Sci. 35, 183-190.

Whelan, B. M., & McBratney, A. B. (2000). The “null hypothesis” of precision agriculture management. Precision Agriculture, 2(3), 265-279.

Yan, P., Pan, J., Zhang, W., Shi, J., Chen, X., Cui, Z. 2017. A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. PLOS one. 12, e0172717.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

Secretaría de Agroindustria

Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# MANEJO SITIO ESPECÍFICO DE N EN MAÍZ A TRAVÉS DEL DIAGNÓSTICO POR SENSORES REMOTOS

**Matías Redel[1], Agustín Michlig[2], Leonardo Fernández[2], Tristán de Villalobos[1], Agustín Mossini[1]**

[1]Administración Villalobos
[2] Auravant- Equipo de Investigación y Desarrollo de Auravant

## INTRODUCCIÓN

Nuevas tecnologías de producción se proponen en las buenas prácticas agrícolas para lograr una producción sustentable (FAO, 2004) y con mayor retorno económico (Bongiovanni y Lowenberg De Boer, 2001). La aplicación de tecnologías y principios para manejar la variabilidad espacial y temporal de los atributos de un lote asociado a la producción agrícola se realiza a través de tecnologías como la agricultura de precisión (AP) (Pierce y Nowak, 1999).

Las recomendaciones de fertilización de N presentan una elevada complejidad debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la dinámica en el sistema suelo-planta-atmósfera (Havlin et al. 2005). En el país, la metodología más comúnmente utilizada para el diagnóstico de la dosis de fertilización nitrogenada en maíz tiene en cuenta el contenido de nitratos a la siembra en la capa 0-60 cm con gran dispersión geográfica en la toma de muestras (Salvagiotti et al. 2002b; Álvarez et al. 2003; Ruiz et al., 2004; García et al., 2005; Pagani et al., 2008; García et al., 2010). Los modelos que utilizan únicamente a los nitratos a la siembra explican entre el 17 y 83% la variabilidad de los rendimientos. Otros modelos de diagnóstico de la fertilización nitrogenada para el maíz proponen utilizar la concentración de nitratos en estadios avanzados del cultivo (V5/V6) (Salvagiotti et al., 2002a; Bianchini et al., 2007; Reussi Calvo et al., 2014). La disponibilidad de nitrógeno en V5/V6 y lo aportado por el fertilizante suelen explicar una mayor proporción de la variabilidad de rendimientos (Reussi Calvo et al., 2014).

Estos diagnósticos pueden realizarse para lotes enteros o distintas zonas de manejo dentro de cada lote productivo. Sin embargo, la disponibilidad de N para el cultivo de maíz, tanto los nitratos a la siembra o en estadios más avanzados del cultivo y el proceso de mineralización desde la materia orgánica, es altamente variable dentro del lote y las zonas de manejo. Es así que se intentan utilizar otro tipo de herramientas para capturar esta variabilidad y hacer aplicaciones dirigidas a cada sector del lote. Recientemente se ha utilizado a la percepción remota en la predicción de la demanda de N por el cultivo a nivel internacional y nacional (Raun et. al. 2005; Teal et. al. 2006; Melchiori et. al. 2008), buscando determinar con mayor precisión la necesidad de N del cultivo para cada sector del lote.

En nutrientes móviles, tal como el N, se intenta lograr la sincronización entre demanda y oferta, para minimizar pérdidas de N por desnitrificación (Sainz Rozas et al., 2001) y lixiviación (Rimski-Korsakov et al., 2004). Las pérdidas de nitrógeno del sistema suelen ser superiores en cultivos de verano (Alvarez & Steinbach, 2010). La pérdida de nutriente del sistema ocurre si el fertilizante no se ajusta temporal y espacialmente a los requerimientos del cultivo (Schloter et al., 2003). El 10 al 30% del nitrógeno total utilizado en la producción de granos se pierde a través de lixiviación (Meisinger & Delgado, 2002), ocasionando tanto contaminación de aguas superficiales como subsuperficiales (Follett & Delgado 2002) y baja de eficiencia económica en la utilización de insumos. Es así que en la región pampeana se observó que las regiones donde el cultivo de maíz presentó limitaciones hídricas, al aumentar el contenido de nitratos disponible en el suelo con la tecnología de dosis uniforme la eficiencia de uso del N en grano resultó menor respecto al tratamiento de dosis por ZM (Muschietti Piana et., al. 2010). Asimismo se estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero bajo tecnología de manejo sitio específico (MSE) y manejo

uniforme de fertilización nitrogenada en un cultivo de maíz, siendo las mismas más bajas en MSE (Muschietti Piana & Zubillaga, 2014).

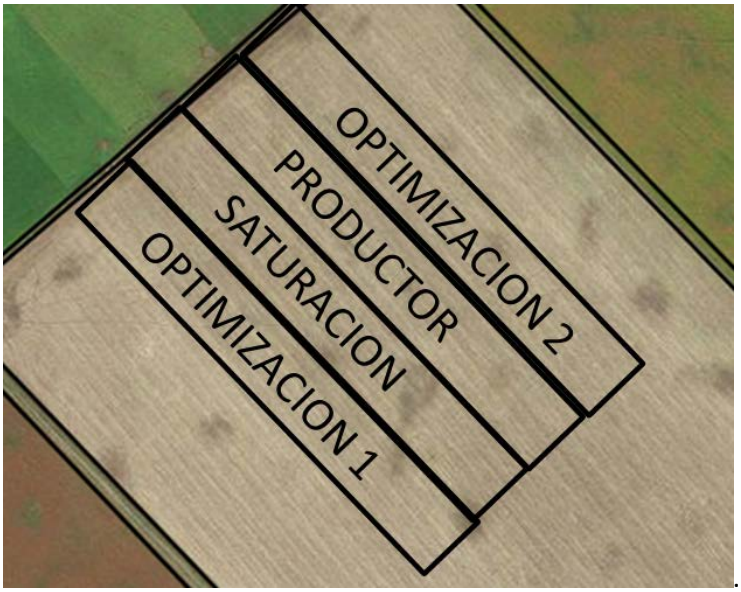
Las imágenes aéreas (satelitales o de drones), un caso específico de sensores remotos, detectan la respuesta de los cultivos a la radiación electromagnética, que se asocia con variables relacionadas a la demanda y/u oferta de nitrógeno (Fitzgerald et al., 2006). Su utilización permite realizar determinaciones en cultivo de manera no destructiva, instantánea, facilitando la repetitividad de las determinaciones durante el ciclo del cultivo.

Los objetivos del presente trabajo son: Poner en evidencia la accesibilidad de metodologías de agricultura de precisión emergentes, en este caso a través del diagnóstico de la fertilización sitio específica nitrogenada en maíz por imágenes de muy alta definición (aproximadamente 10 cm/píxel); y cuantificar el beneficio económico que esta metodología presenta desde un análisis de costo marginal entre el ahorro de fertilizante nitrogenado y mejora en el rinde.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Los ensayos presentados en este documento se realizaron en la localidad de Lincoln, provincia de Buenos Aires. A escala de lote se pueden identificar ambientes de marcada heterogeneidad de la productividad. En las posiciones de loma predominan los *hapludoles énticos* caracterizados por menor profundidad efectiva, contenido de materia orgánica y retención hídrica que los h*apludoles* t*ípicos*, ubicados en las posiciones más bajas (INTA, 1989). Todos estos atributos se relacionan con la variabilidad intralote de la productividad de los suelos y por ende con la fertilidad nitrogenada (Redel et al., 2012).

La primera campaña (2016/2017) se propuso hacer un ensayo en franjas (50 m de ancho por 600 m de largo) con dos metodologías de diagnóstico de N, del "productor" y de optimización (Figura 1)




La dosis de N utilizada en la franja denominada *práctica usual del productor* se obtuvo a través de un balance de masas de N según la siguiente fórmula:

*N fertilizante = N cultivo/ERECN – (N inicial + N mineralizado + N residuos)*

Donde, *N cultivo* es el requerimiento de N para generar un determinado rinde (en este caso se utilizó un rinde esperado de 12 tn, que multiplicado por la necesidad de N para obtener una tn de grano, léase 22 kgN/tn, da una necesidad de 264 kg N. La *ERECN* hace referencia a la eficiencia de recuperación de N. En maíz es común usar valores entre 0.6 y 0.8, usándose para el presente caso 0.7. El *N inicial* proviene del muestreo de suelo en la capa 0-60 cm, donde se obtuvo 108 kg N. El *N mineralizado* es una estimación del N que va a aportar la mineralización de la materia orgánica (calculando como el 2.4% del nitrógeno

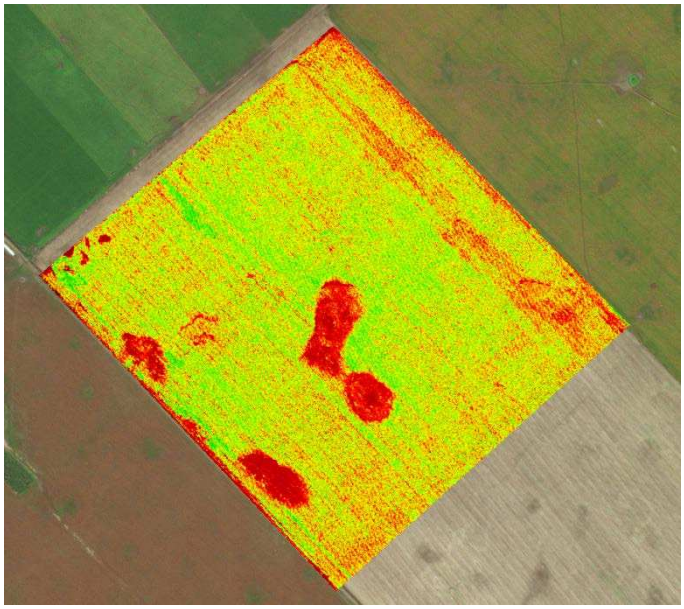
orgánico en la capa 0-30cm). La materia orgánica en la capa 0-30cm fue de 2%. Como valor de aporte de *N desde los residuos* se tomó un valor de referencia de 12 kg de N (por ser el cultivo antecesor soja de primera). Por lo tanto se obtuvo una dosis de fertilizante de 148kgN:

*N fertilizante= (264 kgN/0.7) – (108kgN + 109kgN + 12kgN)= 148kgN*

La dosis de N utilizada en la franja de optimización fue calculada a partir del algoritmo de prescripción PLENA en base a imágenes aéreas multiespectrales. El sensor de la cámara utilizada permite capturar cuatro imágenes en distintas longitudes de onda simultáneamente, en las siguientes bandas:

- Banda Verde (V): 530 a 570 nm (550 nm long. de onda central)
- Banda Roja (R): 640 a 680 nm (660 nm long. de onda central)
- Banda Red-Edge (RE): 730 a 740 nm (735 nm long. de onda central)
- Banda Infrarroja Cercana (NIR): 770 a 810 nm (790 nm long. de onda central)

El índice NDVI, en el que se basa la metodología, se calcula a partir de las bandas Roja (R) e Infrarroja Cercana (NIR), de la siguiente forma: **NDVI = (NIR – R) / (NIR + R).**



El algoritmo utilizado se basa en investigaciones previas (W. R. Raun et al., 2005) en las que se determina un Índice de Respuesta (RI) para predecir la respuesta del cultivo de trigo a la adición de N extra. El RI se aproxima a partir de mediciones del NDVI de una franja de suficiencia de nitrógeno (Nsat) frente al área de interés cercana a la misma.

En la metodología aplicada se utiliza una aproximación exponencial ($y=a \cdot e^{b \cdot x}$) para estimar el rinde potencial del lote sin agregar N ($Y_{P0}$); y ajusta el potencial máximo ($Y_{PN}$) de acuerdo al RI ($Y_{PN} = Y_{P0}$ * (RI NDVI)). El rango dinámico se establece entre los puntos donde no existe canopia (NDVI < límite inferior) y el rinde máximo histórico del lote ($Y_{Pmax}$). Una vez definidos estos datos, se calcula para cada punto del terreno una recomendación a partir de la diferencia del rinde potencial.

Los valores específicos utilizados en los cálculos (coeficientes de curvas de aproximación y límites de corte, entre otros) necesitan evolucionar constantemente y adaptarse a las condiciones específicas de cada zona en cada campaña, por lo cual es evidente la necesidad de dejar de utilizar curvas estándar y migrar a nuevas tecnologías de procesamiento de datos para obtener los mejores resultados. El método de diagnóstico utilizado en este ensayo proviene de ajustes del algoritmo base descrito en este documento.

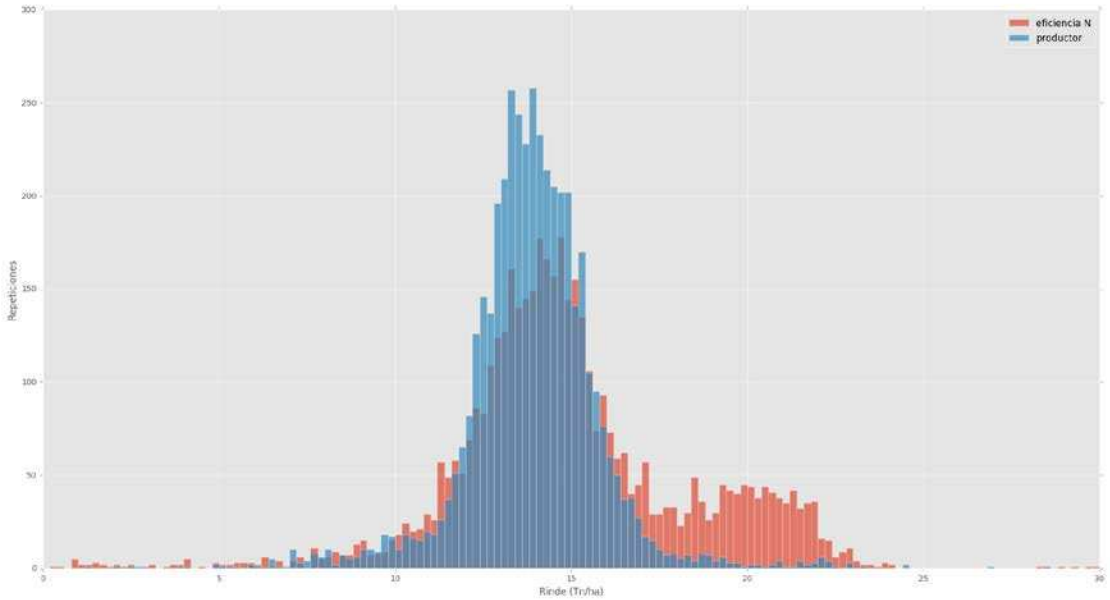
Las dosis prescriptas tanto mediante este método como la correspondiente a la práctica usual del productor fueron aplicadas el 20 de Noviembre de 2016 en v6 con fuente solmix (con siembra 6 de octubre).

La campaña siguiente 2017-2018 se prosiguió a realizar dos lotes bajo la metodología de optimización, aplicándose solmix el 20 y 30 de noviembre de 2017.

**RESULTADOS**

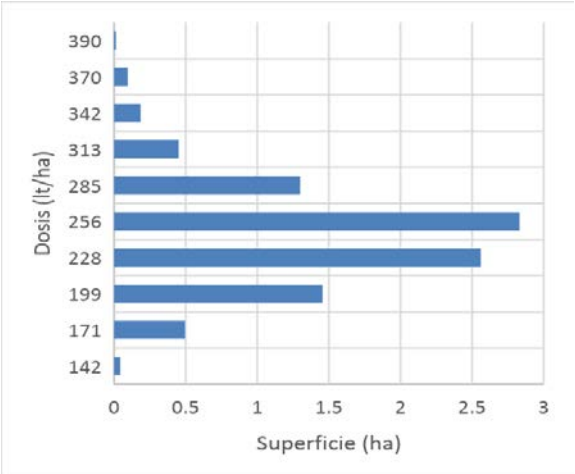
**Campaña 2016-2017**

Los rendimientos de las distintas metodologías fue similar, aunque favoreció sensiblemente al de fertilización variable. El rendimiento de la metodología del productor ha sido de 118 qq/ha, mientras que el rinde de las franjas de optimización fueron de 126 y 128 qq/ha (2 repeticiones). Al observar el histograma de los rendimientos se observa que la práctica de optimización fue capaz de captar el potencial de un sector específico (Figura 3).




Las mayores diferencias se observaron en las dosis empleadas, siendo el valor promedio de las franjas de optimización de 85 kg de N $ha^{-1}$, mientras que la dosis utilizada por el productor fue un 42% mayor, es decir, 148 kg N $ha^{-1}$. Según la dosis utilizada y el rendimiento obtenido la eficiencia de conversión fue de 149 y 80 kg grano/kg N aplicado para la metodología de optimización y la práctica usual del productor respectivamente.

A continuación, el gráfico de dosis por superficie aplicada.




**ANÁLISIS ECONÓMICO**

Desde el punto de vista económico, se dan dos ejes principales de análisis: el ahorro de fertilizante y la variación del rinde obtenido. Dado que cada uno tiene sus implicancias en costos, tanto directos como indirectos, así como en ingresos, se propone un análisis costo-beneficio considerando todas las fuentes de costos o ingresos diferenciales entre el método de uso eficiente de N y la práctica usual del productor.

**PREMISAS**

Para este análisis se siguieron las siguientes premisas:

- Se utilizaron los costos reales de los insumos en el momento de su uso y el precio real del grano al momento de la cosecha
- Para simplificar la comparativa se asumió el arriendo de servicios para realizar las labores frente a un análisis de inversión en maquinaria. Se utilizaron las cotizaciones de contratistas a la fecha de la labor.
- Dado que la adquisición de imágenes NDVI y su posterior procesamiento fue realizada internamente y no se contaba con un costo de referencia, el mismo deberá ser tenido en cuenta luego en el margen bruto final obtenido.
- Siendo un análisis diferencial, se busca discriminar aquellos costos o ingresos que varían entre una metodología y otra

Los valores de referencia de los insumos, labores y precios del grano con el que se realizó el cálculo son:

- Aplicación uniforme: USD 11 $ha^{-1}$
- Aplicación VRT: USD 13 $ha^{-1}$
- Cosecha: 7.5% del valor de la producción cosechada
- Costo Solmix: USD 310 $tn^{-1}$
- Precio Maíz: USD 145 $tn^{-1}$
- TC utilizado USD $ARS^{-1}$ = 16

**CÁLCULOS**

| | Optimización | Práctica Productor |
|---|---|---|
| **Valores productivos** | | |
| Fertilizante (lt Solmix $ha^{-1}$) | 233 | 406 |
| Rendimiento (kg $ha^{-1}$) | 12.700 | 11.800 |
| **Costos** | | |
| Fertilizante (USD $ha^{-1}$) | 94 | 164 |
| Labor con VRT (USD $ha^{-1}$) | 13 | |
| Labor sin VRT (USD $ha^{-1}$) | | 11 |
| Cosecha (USD $ha^{-1}$) | 138 | 128 |
| **Total Costos (USD $ha^{-1}$)** | 245 | 303 |
| **Ahorro Incremental por uso de metodología (USD $ha^{-1}$)** | 58 | |
| **Ingresos** | | |
| **Ingreso bruto (USD $ha^{-1}$)** | 1.842 | 1.711 |
| **Ingresos Incremental por uso de metodología (USD $ha^{-1}$)** | 131 | |
| **Beneficio Total por uso de metodología (USD $ha^{-1}$)** | 188 | |

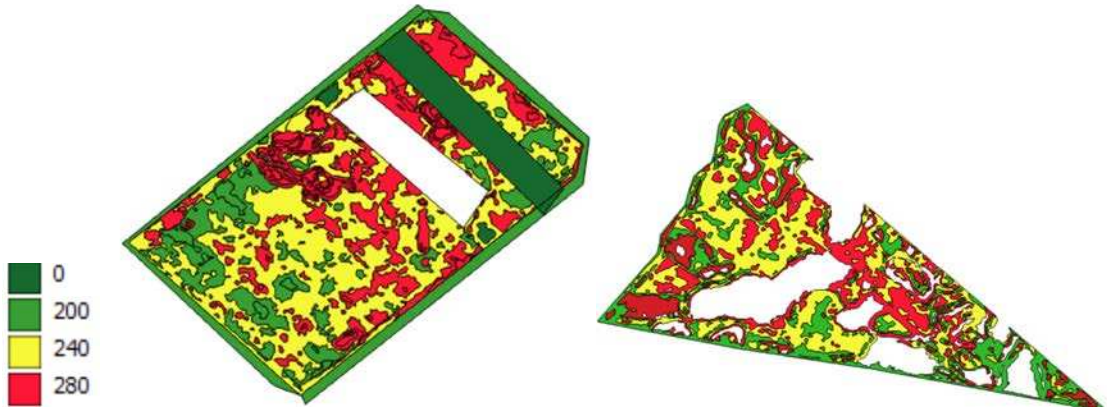
La mayor diferencia observada en el presente ensayo es el ahorro en el uso de fertilizante (70 USD $ha^{-1}$) y el mayor rendimiento observado en la parcela de optimización (dando un ingreso incremental de 131 USD $ha^{-1}$). Sin embargo no se tuvo en cuenta el costo de generar el mapa de aplicación variable (el cual se podría estimar en 10 USD $ha^{-1}$, lo que daría un beneficio total de **178 USD $ha^{-1}$**). Asimismo, es importante remarcar que este análisis puede variar ampliamente según la metodología de diagnóstico de cada productor en particular, así como las características climáticas de la campaña en cuestión.

**CAMPAÑA 2017-2018**

Para la campaña 2017-2018 se realizaron dos lotes bajo la metodología de optimización. La fecha de siembra ha sido el 4 y 5 de octubre para los lotes 1 y 2 respectivamente. Luego, la fertilización se realizó el 20 y 30 de noviembre para el lote 2 y 1 respectivamente cuando el cultivo estaba en seis hojas totalmente expandidas. Como fuente de N se utilizó Solmix. De esta manera se buscó sincronizar la oferta con la demanda de N.

Esta campaña se caracterizó por un comienzo con excesos hídricos seguidos de una fuerte sequía a partir de los primeros días de enero. Sin embargo se observaron buenos rendimientos de maíz y muy buenas eficiencias de conversión (similares a las de la campaña anterior).

| Lote | ha | Nitratos (KgN/ha) | Dosis promedio (kgN/ha) | Híbrido | Rendimiento (kg/ha) | Ef (kg grano/kg N) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LOTE 1 | 102 | 81 | 92 | AX7761 | 11377 | 123,7 |
| LOTE 2 | 70 | 51 | 96 | P2109 | 11927 | 124,2 |




Estas nuevas tecnologías tienen por objetivo no solo hacer un mejor diagnóstico a escala intralote del estado nutricional de las plantas, sino también limitar posibles pérdidas del sistema ya que híbridos modernos absorben más proporción de N en estadios más avanzados de lo que lo hacían híbridos antiguos. En bibliografía se pueden observar valores de 70 a 75% de N absorbido a floración por híbridos antiguos, mientras que los modernos llegan a alrededor del 40% para la misma fecha.

Esta metodología requiere de un gran compromiso por parte de asesor. Una vez confeccionado el mapa variable este debe ser chequeado a campo para verificar sectores que puedan tener otra limitante que no sea el N. En varias oportunidades se observaron sectores cuyo rendimiento potencial estaba limitado por tipo de suelo (lomas arenosas, bajos anegables, etc), donde ya se percibía un menor vigor del cultivo (lo que al correr automáticamente el modelo daba una dosis muy alta de N a aplicar). En estos casos es imprescindible contar con una ambientación previa, y que la franja de saturación cruce todos los ambientes delimitados. Las nuevas herramientas digitales son un excelente complemento para el conocimiento del asesor, pero no dejan de ser herramientas que tienen que ser utilizadas por alguien que conozca los lotes.

Para el lote dos se dejaron ciertas áreas cuyo rendimiento no estaba limitado por N, que presentaron bajo valor de NDVI. Este bajo valor de vigor llevó a diagnosticar una dosis alta (116 y 131 kgN/ha) pero al analizar los rindes por cada rango de dosis se observaron que estas dosis fueron las que obtuvieron el menor rendimiento. Por otro lado es bueno resaltar que en el resto de rango de dosis el rendimiento se mantuvo estable y alto.

| Dosis (KgN/ha) | Rinde (kg/ha) | % de superficie |
|---|---|---|
| 58 | 12.210 | 13 |
| 73 | 12.490 | 24 |
| 87 | 12.790 | 37 |
| 102 | 11.760 | 23 |
| 116 | 9.320 | 2 |
| 131 | 8.100 | 1 |

**CONCLUSIONES**

El diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz mediante el uso de sensores remotos presentó ventajas sobre el diagnóstico en base a muestreo de suelos previo a la siembra. La principal ventaja fue un mejor ajuste de la dosis de N a emplear, donde se redujo el uso del fertilizante en 63 kg de N. Asimismo, se observó esta mejora en el margen diferencial de las prácticas, donde la metodología que optimiza y, en este caso, reduce el uso de fertilizante presentó un **beneficio económico cercano a los 188 USD ha$^{-1}$.** Para ambas campañas analizadas se observan elevadas eficiencias de conversión de fertilizante en grano.

*El uso eficiente de nitrógeno (sin excedentes que lixivien) tiene asociado un impacto ecológico positivo, abriendo las puertas a una agricultura más sustentable.* **Es imprescindible el acompañamiento por parte del asesor agrónomo en la confección de los mapas para diferenciar ambientes intralote con diferente potencial de rinde.**

La adopción de prescripciones basadas en algoritmos que engloban múltiples fuentes de información histórica y de la campaña en curso abre nuevas oportunidades para mejorar la competitividad en la producción de cereales.

**BIBLIOGRAFÍA**


Alvarez, R. A. & Steibach, H. E. 2010. Ciclado de nitrógeno em agrosistemas. En: Fertilidad de Suelos. (Ed Alvarez et al.). Ed. Facultad de Agronomía (EFA-UBA). 231-269.

Alvarez, R., Steinbach, H., Alvarez, C. & Grigera, S. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. Informaciones Agronómicas. 18: 14-19.

Bianchini, A., Begnis, A. S., Peruzzi, D., Magnelli, M. E., Lorenzatti, S., Rabasa, J. & García, F. 2007. Redes de ensayo de nutrición de cultivos de AAPRESID. Simposio Fertilidad 2007. 28-34.

Bongiovanni, R. & Lowenberg-De Boer, R. 2001. Agricultura de precisión y sustentabilidad. 2001. En: Actas del VII Congreso Nacional de Maíz, Pergamino, Argentina, CD.

FAO. 2004. Las buenas prácticas agrícolas. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Www.rlc.fao.org/es/agricultura/bpa/docfao/110.doc.

Fitzgerald, G. J; Rodríguez D.; Christensen L. K.; Belford R. & Sadras V.O. 2006. Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rainfed and irrigated wheat environments. Precision Agricultural Journal 7:233–248.

Follett, R. F. & Delgado, J. A. 2002. Nitrogen fate and transport in agricultural systems. Journal of soil and water conservation. 57 (6): 402-408.

García, F. O., Boxler, M., Minteguiaga, J., Blanco, H., Houssay, R., Deza Marín, G. & Berardo, A. 2005. Efectos directos y residuales de la fertilización en maíz: resultados de la red de nutrición CREA Sur de Santa Fe. Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. 154-157.

García, F., Boxler, M., Minteguiaga, J., Pozzi, R., Firpo, L., Ciampitti, I., Correndo, A., Bauschen, F., Berardo, A. & Reussi Calvo, N. 2010. La red de nutrición de la región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2009-2009, AACREA, 2da edición. 62.

Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 2005. Soil fertility and fertilizers. 7th ed. Prentice Hall, Englewood Cliff s, NJ. P. 515.

INTA. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000. 527pp, Bs. As. Argentina.

Meisinger, J. J. & Delgado, J. A. 2002. Principles for managing nitrogen leaching. Journal of soil and water conservation. 57 (6): 485-498.

Melchiori, R., Barbagelata, P. A., Albarenque, S. M., Bianchini, A. A. & Raun, W. 2008. Spatial resolution for N management with active sensors in corn. 9th International Conference of Precision Agriculture. Denver, Colorado.

Muschietti Piana, M P & MM Zubillaga, 2014 Agricultura de precisión y GEI: efecto de la fertilización nitrogenada. En Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: Avances en Argentina. Ed.Pascale Medina et al. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 20p ISBN 9789871873241

Muschietti Piana, M.P., Cipriotti, P. A., Rimski-Korsakov, H., Niborski, M. & Urricariet, S. 2010. Fertilización con dosis variable. Optimizando la eficiencia de uso del agua y del nitrógeno del maíz. Fertilizar 16: 21-25.

Pagani A., H.E. Echeverría, H. Sainz Rozas, & P.A. Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 26:183-193.

Pierce, F. J & Nowak, P. 1999. Aspects of Precision Agriculture. Advances in Agronomy 67: 1-85.

Raun W R, Solie J B, Stone M L, Martin K L, Freeman K W, Mullen R W, Zhang H, Schepers J S & Johnson G V. 2005. Optical sensor based algorithm for crop nitrogen fertilization. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 36: 2783–2792.

Redel, H. M. 2012. Trabajo de intensificación para obtener el título de grado. Evaluación de la mineralización de nitrógeno para una agricultura por ambientes. Marzo, 2012.

Reussi Calvo, N., Calandroni, M., Studdert, G., Cabria, F., Diovisalvi, N. & Berardo, A. 2014. Nitrógeno incubado en anaerobiosis y matéria orgánica en suelos agrícolas de Buenos Aires. Actas Del XXIV Congreso Argentino de La Ciencia del Suelo.

Rimski-Korsakov H, Rubio G. & Lavado R.S. 2004. Potential losses of nitrate by leaching in soils of the Pampas Argentina. Agricultural Water management 65: 83-94.

Ruiz, R.A., Maddonni, G.A., Mercau, J.L. & Satorre, E.H. 2004. Bases para la fertilización de maíz en la región litoral sur de AACREA (Provincia de Entre Rios). XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, actas en CD.

Sainz Rozas H.R., H.E. Echeverría & L.I. Picone. 2001. Denitrification in maize under no-tillage: Effect of nitrogen rate and application time. Soil Sci. Soc. Of Am. J. 65: 1314-1323.

Salvagiotti, F., Pedrol, H. & Catellarín, J. 2002 a. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. II. Relación entre la respuesta en rendimiento y la concentración de N-NO3 en el suelo en el estadio V5-V6. Para mejorar la producción 20: 71-74.

Salvagiotti, F., Pedrol, H., Catellarín, J., Capurro, J., Felizia, J. C., Gargicevich, A., Gentili, O., Mendez, J. & Trentino, N. 2002b. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. I. Relación entre la respuesta en rendimiento y la disponibilidad de nitrógeno a la siembra. Para mejorar la producción 20: 67-70.

Schloter, M., Bach, H. J., Metz, S., Sehy, U. & Munch, J. C. 2003. Influence of precision farming on the microbial community structure and functions in nitrogen turnover. Agriculture, Ecosystems and Environment. 98 (1-3): 295-304.

Teal, R. K., Tubana, B., Girma, K., Freeman, K. W., Arnall, D. B., Walsh, O & Raun, W. R. 2006.In-season prediction of corn grain yield potential using normalized difference vegetation index. Agron . J. 98:1488-1494.

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

17° Curso Internacional de
# Agricultura y Ganadería de Precisión
## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

# PORTA

INTA Secretaría de Agroindustria
Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# DENSIDAD POR AMBIENTE: SUELO SOMERO Y CAMPAÑA SIN LLUVIAS

**Fernando Ross**
Chacra Experimental Integrada Barrow, Tres Arroyos Buenos Aires, Argentina
ross.fernando@inta.gob.ar

El objetivo de este trabajo fue ajustar la densidad de plantas en el cultivo de maíz ante variaciones en la disponibilidad de recursos, determinados principalmente por cambios en la profundidad efectiva del suelo.
El experimento se realizó en un lote situado en las cercanías de la ciudad de Vázquez, partido de González Chaves. El suelo pertenece a la serie de suelo Tres Arroyos, esta serie se caracteriza por la presencia de un manto calcáreo a profundidades variable que limita la profundidad efectiva para el crecimiento de las raíces y la capacidad de almacenaje de agua. El ensayo se sembró el 21 de noviembre de 2017, las densidades evaluadas (24000; 34000 y 44000 pl $ha^{-1}$) se dispusieron en franjas atravesando ambientes o sitios con distinta productividad. El experimento se realizó con el híbrido DK7310.
Considerando las variaciones en el índice NDVI de imágenes recolectadas en la campaña entre enero y marzo se construyó un mapa de ambientes. Mediante el análisis geoespacial se determinaron tres ambientes contrastantes. La cosecha se realizó en dos modalidades, la primera etapa consistió en una cosecha a mano, recolectando tres muestras por ambiente. En cada sitio de muestreo se midió la profundidad del suelo, se realizaron los recuentos de plantas, macollos, espigas, y se determinó el rendimiento fraccionando según las fuentes que lo generaron: rendimiento proveniente de la espiga principal (E1), de la secundaria (E2) y de las espigas de macollos (Em). La segunda modalidad de cosecha se realizó a fines de junio con una cosechadora equipada con monitor de rendimiento y balanza.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ciclo del cultivo las lluvias resultaron significativamente inferiores a las normales comparadas con el registro histórico de la CEI Barrow (Fig. 1). Sin embargo, las precipitaciones durante el barbecho resultaron suficientes para alcanzar la capacidad de campo a la siembra del maíz.

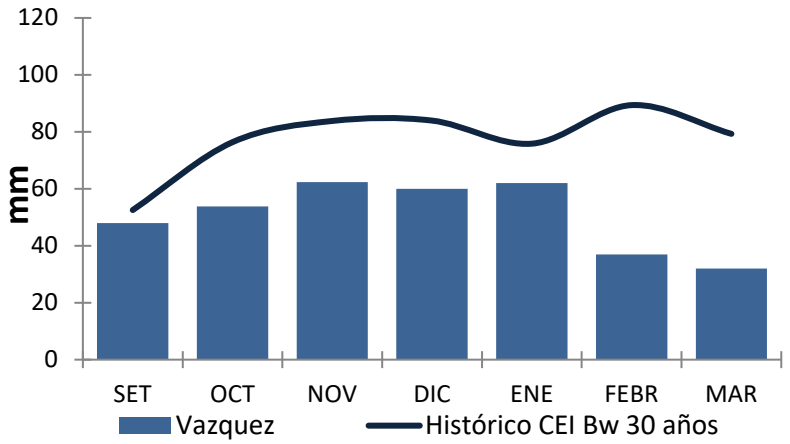



Figura 1: Precipitaciones

### *RENDIMIENTO*

La escasez de precipitaciones de la campaña se reflejó en el rendimiento logrado. Para el promedio de los ambientes estudiados, la densidad de 2,4 pl $m^{-2}$ obtuvo el mejor resultado agronómico (Fig. 1). Además, se encontraron diferencias entre la metodología de cosecha (manual vs. máquina). Si bien, para la cosecha a mano solo se tomaron tres repeticiones por ambiente, las diferencias entre cosecha mecánica y manual resultaron mínimas en las densidades de 2,4 y 3,4 pl $m^{-2}$ (< a 100 kg $ha^{-1}$). Es decir, tomando como referencia a la cosecha con máquina, con un muestreo direccionado por un mapa de NDVI se logró suficiente precisión

para la información recolectada a mano. Sin embargó, la diferencia de rendimiento entre modalidades de cosecha resultó muy elevada en la densidad de 4,4 pl $m^{-2}$. El factor principal de esta diferencia fue la presencia de plantas quebradas (2% de plantas quebradas en 2,4 pl $m^{-2}$; 8,5% en 3,4 pl $m^{-2}$ y 29% en 4,4 pl $m^{-2}$). Las pérdidas de cosecha aumentaron considerablemente en la densidad mayor y redujeron notablemente su rendimiento agronómico (cosechadora, Fig. 2).

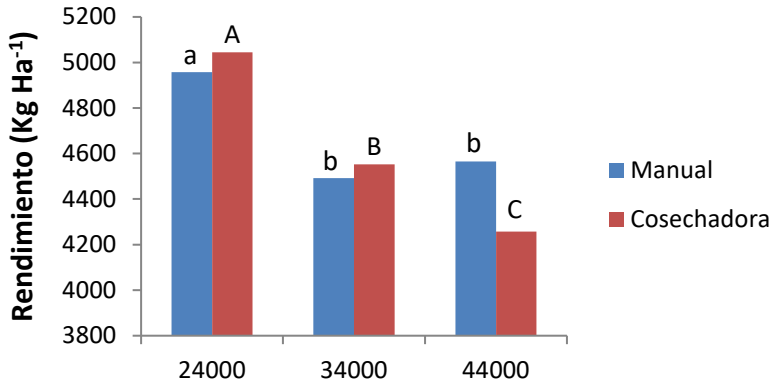



Figura 2: Rendimiento en función de la densidad de plantas sembradas (pl $Ha^{-1}$) y de la modalidad de cosecha. Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativas para cada modalidad de cosecha ($p<0,05$).

En los tres ambientes evaluados la densidad de 2.4 pl $m^{-2}$ obtuvo los mejores resultados (Fig. 3). La densidad mayor obtuvo el mejor resultado en los picos máximos de rendimiento (4.4 pl $m^{-2}$: 13500 Kg $ha^{-1}$ vs 2.4 pl $m^{-2}$:12500 Kg $ha^{-1}$). No obstante, el rendimiento promedio para el ambiente de mayor productividad se obtuvo con la menor densidad. La presencia de sitios de bajo rendimiento dentro del ambiente profundo puedo haber generado esa disociación. Además, las deficiencias nutricionales pudieron afectar con mayor intensidad al ambiente profundo e incrementar su intensidad con la densidad. Si bien, no se presentaron signos visuales de deficiencias de nutrientes como clorosis o punta de espiga sin grano, puede que estas deficiencias hayan incrementado el quebrado de la planta que resultó similar en todos los ambientes. En el otro extremo, en el ambiente intermedio y somero las diferencias de rendimiento entre densidades resultaron muy bajas, poniendo de manifiesto una gran adaptabilidad del genotipo evaluado.

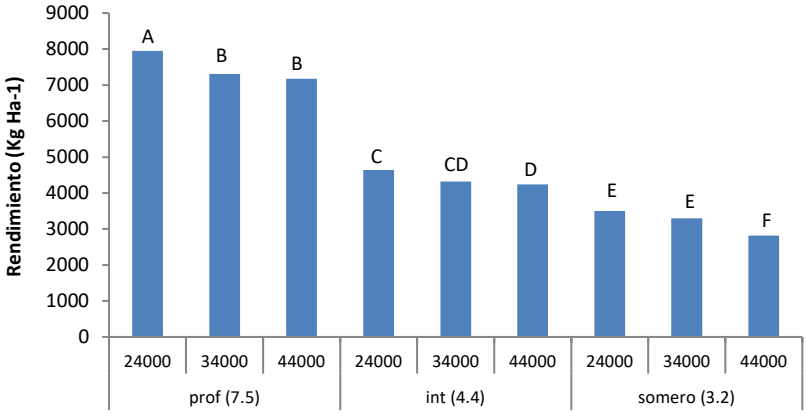



Figura 3: Rendimiento por cosechadora en función del ambiente y de la densidad. Entre paréntesis se indica el promedio de rendimiento del ambiente en t $Ha^{-1}$. Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativas ($p<0,05$)

La falta de respuesta a la densidad es coherente con el bajo rendimiento alcanzado y con una elevada plasticidad reproductiva del híbrido evaluado. La plasticidad reproductiva minimizó los requerimientos crecientes de densidad ante niveles crecientes en la oferta de recursos. Entonces, en este marco experimental la plasticidad reproductiva permitió suplir el incremento de densidad ante incrementos de la productividad del ambiente. En todos los ambientes, la reducción del aporte de la espiga principal ante reducciones en la densidad (E1; Fig. 4), fue compensada por un incremento del rendimiento proveniente de la segunda espiga (E2) y de las espigas en los macollos (Em). No obstante, debemos considerar que la plasticidad tiene limitaciones, que hay diferencias genéticas en su expresión y que estos resultados son coherentes con una campaña marcada por un déficit hídrico con dinámica creciente.

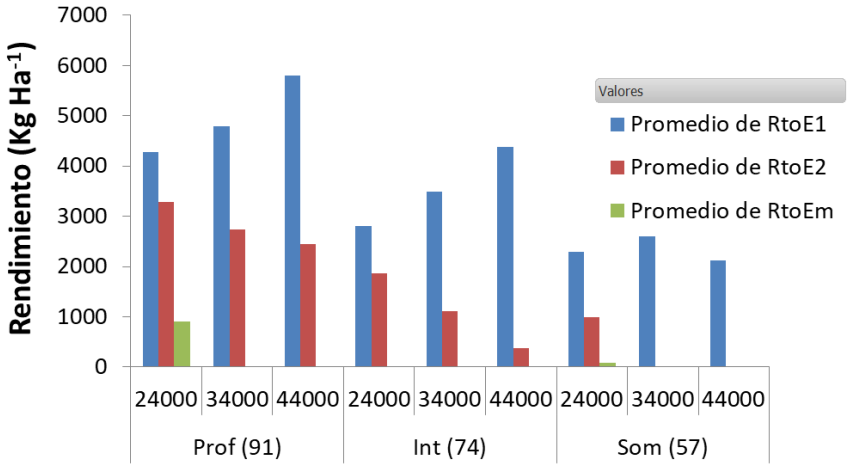



Figura 4: Rendimiento aportado por las diferentes fuente según la cosecha manual: espiga principal E1, secundaria E2 y de macollos Em; en función del ambiente y de la densidad de siembra. Entre paréntesis se indica la profundidad de tosca.

## CONSIDERACIONES FINALES

Las restricciones hídricas de la campaña limitaron notablemente el rendimiento del cultivo de maíz, acoplándolo con la calidad del ambiente edáfico. En estas condiciones, la densidad de 2,4 pl $m^{-2}$ logró el mejor resultado agronómico en todos los ambientes evaluados. Sin embargo, incrementar la densidad hasta 4,4 pl $m^{-2}$ no determinó una pérdida considerable en el rendimiento. Esto pone de manifiesto la capacidad productiva de los híbridos modernos en condiciones restrictivas. No obstante, se observó una notable reducción del rendimiento agronómico producto del incremento en la tasa de quebrado de tallo en la densidad de 44.000 pl $ha^{-1}$.

## BIBLIOGRAFÍA

Ross Fernando 2012. Densidad de plantas en maíz: Ajuste por ambiente. International plant nutrition institute (IPNI). Diciembre de 2012. 11-14 p.

Ross Fernando. 2014. Maíz en ambientes someros, genotipo y densidad. Actualización técnica de cultivos de cosecha gruesa, EEAI INTA Barrow. 54p.

Ross Fernando. 2015. Maíz en año niño: profundidad de suelo y densidad de siembra. Actualización técnica de cultivos de cosecha gruesa, EEAI INTA Barrow. 51p.

Ross Fernando. 2016. Maíz: Fecha de siembra, genotipo y densidad en suelos somero. Actualización técnica de cultivos de cosecha gruesa, EEAI INTA Barrow. 35 p.

Ross Fernando. 2016. Maíz en suelo somero: híbrido x densidad x nitrógeno. Actualización técnica de cultivos de cosecha gruesa, EEAI INTA Barrow. 35 p.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos


PROFERTIL

Vida para nuestra tierra


Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

# DELINEACIÓN DE ZONAS DE MANEJO DE NITRÓGENO PARA EL CULTIVO DE MAÍZ EN EL NOROESTE BONAERENSE

**Girón, Paula[1] ; Pagani, Agustín[2]**
[1]EEA INTA Villegas
[2]Clarion, 9 de Julio, Buenos Aires

## INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente esencial más importante para los cultivos por su rol en los sistemas biológicos, la complejidad de su ciclo y su participación en los sistemas de producción (Havlin et al., 2005). La disponibilidad de este nutriente es uno de los factores edáficos que con mayor frecuencia restringe el logro de altos rendimientos en maíz. En el Noroeste Bonaerense (NOB), donde el rendimiento del cultivo de maíz está principalmente limitado por la disponibilidad de agua durante su ciclo de producción, son abundantes los estudios regionales que muestran aumentos significativos en su producción debido a la fertilización nitrogenada (Harguindeguy, 1995, Díaz-Zorita y Duarte 1997, Barraco y Díaz- Zorita, 2005).

Los fertilizantes nitrogenados tienen una alta importancia relativa dentro del costo de producción, por lo que es necesario contar con herramientas que permitan determinar la dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN), es decir, la cantidad de insumo (fertilizante nitrogenado) que maximiza la renta de este cultivo (Pagani *et al*., 2008, Jaynes *et al,* 2011). Por otra parte la determinación de la DOEN tiene implicancias ambientales, ya que el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados puede afectar negativamente la calidad de los recursos agua y aire (Robertson *et al.,* 2000; Basso y Ritchie, 2005).

Numerosos estudios han mostrado que la DOEN para el cultivo de maíz varía entre lotes y entre años (Mamo *et al.,* 2003; Sambroski *et al.,* 2009). A su vez, dentro de un mismo lote de producción, la DOEN puede no ser constante debido a la variabilidad espacial de las condiciones de los cultivos en crecimiento y de las propiedades del suelo (Pierce y Nowak, 1999). Sin embargo, la fertilización nitrogenada se realiza habitualmente con aplicaciones uniformes dentro de los lotes, lo que en muchos casos resulta en sobrefertilizaciones en algunas áreas y subfertilizaciones en otras (Fiez *et al.,* 1995, Pan *et al.,* 1997). La sobrefertilización de N incrementa las probabilidades de la lixiviación del N como $NO_3^-$ debajo de la zona de raíces (Meisinger y Randall, 1991) mientras que la subfertilización limita el rendimiento (Pan *et al.*, 1997) y puede restringir la rentabilidad (Scharf y Lory, 2000).

Para abordar este problema, en los últimos años han surgido tecnologías capaces de contemplar la heterogeneidad de los lotes de producción. En este sentido, la agricultura de precisión permite implementar estrategias de manejo sitio-específicas para abordar la variabilidad espacio-temporal de la producción agrícola (Pierce y Nowak, 1999).

Uno de los enfoques propuestos que utilizan a la agricultura de precisión como herramienta para el manejo sitio-específico de N es el que se basa en la delimitación de zonas de manejo (ZM) que pueden definirse como subregiones dentro de un lote que expresan una combinación homogénea de los factores limitantes de rendimiento para los cuales es apropiada una dosis única de un insumo específico (Doerge, 1999). El ajuste de la dosis de N en cada ZM tendría el potencial de incrementar la eficiencia de uso de N, maximizar el beneficio económico y de reducir el impacto ambiental (Bongiovanni, 2002).

La delineación de cada ZM puede ser realizada mediante diversos criterios como: mapas de rendimiento de años anteriores (Ferguson *et al*., 2003), topografía (Franzen *et al*., 2000), conductividad eléctrica aparente (CEa) (Lund *et al.,* 1999), índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) (Basso, 2012), tipo de suelo (Pautasso *et al*., 2010), o con un abordaje más integral a través de la superposición de ellos (Derby *et al.,* 2007).

Algunos estudios han concluido que los principios generales del manejo sitio-específico son transferibles entre regiones, pero las estrategias de fertilización con dosis variable deben ser modelados localmente porque las

condiciones edáficas y climáticas son variables (Bongiovanni, 2002). Por lo tanto, es relevante para el NOB contar con información de la variabilidad espacial a nivel intra-lote de la respuesta a N por parte del cultivo de maíz y cuáles son las herramientas más apropiadas para caracterizarla, a fin de poder desarrollar estrategias para ajustar las necesidades de N. En la actualidad no son abundantes los trabajos que evalúan la variabilidad espacial de la respuesta a N y la DOEN para el cultivo de maíz en lotes de producción, utilizando tecnologías de agricultura de precisión.

El objetivo del estudio fue comparar criterios para delinear ZM de N como variables explicativas de la variabilidad espacial del rendimiento del cultivo, la respuesta a N y la DOEN a nivel intra-lote mediante el uso de tecnologías de agricultura de precisión.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se llevó a cabo mediante ensayos en franja con dosis de N en las campañas 2015/16 y 2016/17 en 5 lotes ubicados en el NOB (Sitio 1, 2, 3, 4 y 5). Los campos fueron elegidos por presentar condiciones edáficas y topográficas características de la zona.

Se delinearon ZM mediante el análisis de clasificación difusa contenido en el programa "Management Zone Analyst" (MZA) (Fridgen *et al*., 2004) en función de: 1) la elevación del terreno, 2) CEa90 y 3) profundidad efectiva de suelo. Para ello se realizó un relevamiento con una rastra Veris 3100 (Veris Technologies, Salina, KS, USA) y un sistema de posicionamiento global (GPS) RTK de doble frecuencia Trimble 5700. De esta manera se obtuvieron mapas interpolados (metodología krigging ordinario) para cada una de estas variables. La profundidad efectiva de suelo se determinó mediante un esquema de muestreo en grilla sistemático desde 10 x 20 m a 28 x 20 m, según el sitio experimental, usando un muestreador manual y un GPS de alta precisión. La principal impedancia física normalmente encontrada en el NOB es el horizonte thapto de profundidad variable (entre 30 y 100 cm).

Los ensayos fueron sembrados con la maquinaria del establecimiento. En la campaña 2015/16 junto a la siembra del cultivo se utilizó superfosfato triple (0-46-0) como fertilizante arrancador a razón de 80 kg $ha^{-1}$ (Sitios 1, 2 y 3). En la campaña 2016/17 se utilizó fosfato monoamónico (11-46-0) a razón de 90 y 100 kg $ha^{-1}$ para los sitios 4 y 5, respectivamente. El N aportado por este fertilizante fue considerado en todos los análisis posteriores.

Se evaluaron 5 dosis de N (0, 30, 60, 120 y 240 kg N $ha^{-1}$) aplicados como urea granulada (46-0-0) en todos los sitios. Los sitios 2, 3, 4 y 5 se fertilizaron al voleo en el momento fenológico de V4 (Ritchie y Hanway, 1982) y el Sitio 1 la fertilización fue a la siembra.

El diseño de los ensayos en franja fue con bloques completos al azar y 2 o 3 repeticiones según el sitio, utilizando una metodología similar a la usada por Scharf *et al.* (2005); Bermudez y Mallarino (2007); Pagani y Mallarino (2015). El ancho de la franja fue el ancho de trabajo de la fertilizadora o sembradora (entre 9 y 28 m) dependiendo el sitio y el largo fue igual al largo del lote (entre 240 y 1240 m). En cada ensayo se intentó orientar las franjas de manera tal que cada bloque quedara lo más uniformemente representado por los patrones de variabilidad edáfica y topográfica del terreno.

Previo a la cosecha de los ensayos, se calibró el monitor de rendimiento de las cosechadoras siguiendo las especificaciones técnicas de cada fabricante, a fin de asegurar un grado de error inferior al 3%. Se cosecharon los surcos centrales de cada franja de fertilización nitrogenada y se descartaron los surcos de los bordes.

La información de rendimiento generada fue analizada a una escala espacial considerablemente inferior a la de las franjas completas con el objetivo de estudiar la variabilidad espacial de la respuesta a N dentro de cada sitio. Por esa razón, las franjas con los tratamientos de N se dividieron en transectas de 20 m de longitud y se promediaron los puntos de rendimiento (entre 10 y 12) pertenecientes a cada transecta para cada dosis de N. La longitud de las transectas fue seleccionada en función de lo sugerido por Lark *et al.* (1997). De esta manera, cada transecta contó con información de rendimiento y de un valor de cada criterio de delineación de ZM.

Para cada sitio y ZM se ajustaron curvas de respuesta a la fertilización nitrogenada, seleccionando el modelo (cuadráticas y cuadráticas-plateau) más apropiado en función del coeficiente de determinación ($R^2$). Se calculó la DOEN a través del método de la derivada primera utilizando la relación de precios histórica N-grano de maíz de 10:1 (Pagani *et al.,* 2008).

Se realizó un análisis a través de los 5 sitios experimentales relacionando los parámetros de la curva de respuesta a N, rendimiento del testigo (sin el agregado de N), rendimiento a la DOEN, respuesta a N (diferencia entre el rendimiento a la DOEN y rendimiento del testigo) y la DOEN, con los valores promedio de la variable empleada para definir cada ZM.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Figura 1 se observa las curvas respuestas de rendimiento de maíz a la fertilización nitrogenada a través de las franjas que atravesaron todo el lote para los 5 sitios. Las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo en ambas campañas fueron muy superiores al promedio histórico, lo que derivó en altos niveles de rendimiento máximo (12671 kg $ha^{-1}$ como promedio de todos los sitios) y también altas respuestas a N y DOEN (2684 kg $ha^{-1}$ y 113 kg $ha^{-1}$, respectivamente). Numerosos trabajos nacionales e internacionales han demostrado diferentes formas de interacción entre el rendimiento del maíz y la respuesta a N con la disponibilidad hídrica del suelo (Al-Kaisi y Yin, 2003; Kim *et al.,* 2008; Rimski-Korsakov *et al.,* 2009). Generalmente la respuesta a N en maíz y otros cultivos aumenta con la disponibilidad hídrica debido a mayores pérdidas de N del sistema, mayor rendimiento máximo alcanzado o ambas razones (Puntel *et al*., 2018).

Si bien este análisis aporta valiosa información acerca de la respuesta promedio de cada sitio, ignora por completo la distribución espacial del rendimiento, la respuesta a N y la DOEN dentro de cada sitio. Esto no es un problema grave en campos relativamente homogéneos en cuanto a sus características edáficas, topográficas y de manejo previo, pero en sitios con variabilidad espacial como una gran parte del NOB y los seleccionados en este trabajo, es evidente que este análisis es limitado. Por lo tanto a continuación se estudió la variación de la respuesta a N dentro de cada sitio comparando diferentes criterios de caracterización ambiental. En este sentido se estudió el comportamiento de cada sitio de manera individual y luego se agruparon los sitios en dos categorías: Sitios 1, 2 y 3 de muy baja pendiente y presencia de horizonte thapto en algún área, y los Sitios 4 y 5 sin presencia de horizonte thapto pero caracterizados mayor diferencia de elevación (presencia de lomas arenosas).

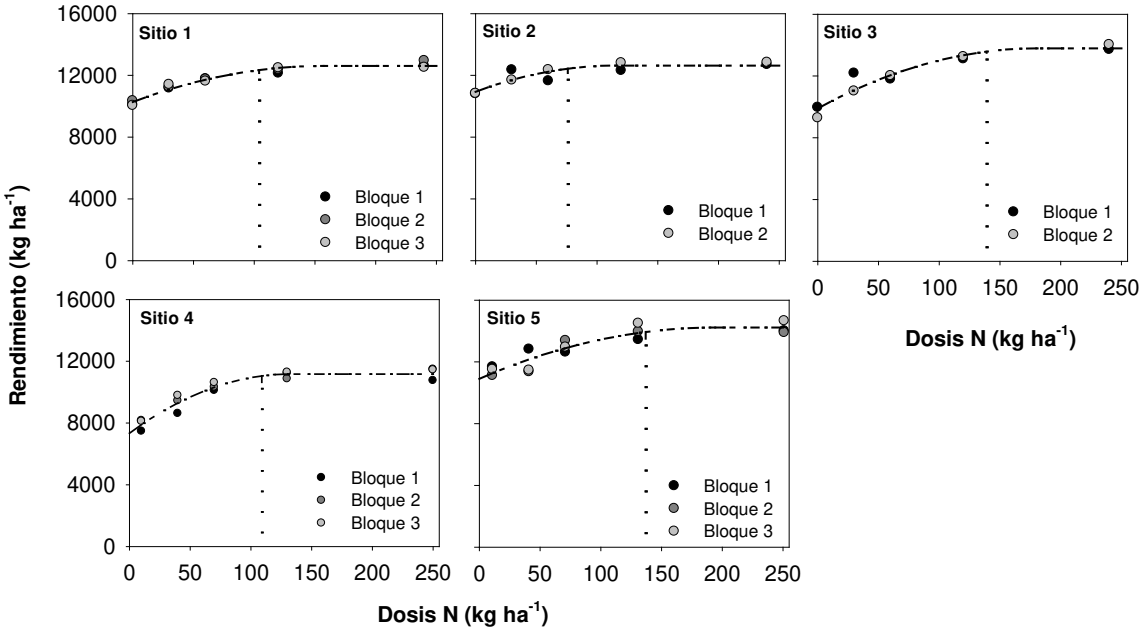



Figura 1: Rendimiento de maíz en función de la dosis de nitrógeno (N) aplicada considerando el promedio de cada franja para los 5 sitios del noroeste bonaerense en las campañas 2015/16 y 2016/17. Los puntos indican el promedio de rendimiento para cada dosis de N en cada bloque y las líneas punteadas indican la dosis óptima económica de N (DOEN).

**ELEVACIÓN**

En la Figura 2 se observa las curvas respuestas de rendimiento de maíz a la fertilización nitrogenada para cada sitio y ZM delimitada en función de la elevación del terreno. En los Sitios 2 y 3, se observó que el rendimiento del cultivo tendió a disminuir a medida que lo hizo la elevación del terreno (Figura 3). Este efecto fue en general más marcado en los tratamientos testigo (sin el agregado de N) o con dosis reducidas. El NOB se caracteriza por presentar suelos Hapludoles típicos consociados con Hapludoles thapto-árgicos. Generalmente, estos últimos se encuentran en las zonas más bajas del paisaje y se caracterizan por una menor productividad (Prece *et al.,* 2014), ya que presentan un cambio textural abrupto entre el horizonte superficial y el subsuperficial (de textura más fina). Esta característica le confiere una limitante potencial para el crecimiento de la raíz, menor capacidad de almacenamiento de agua útil en años de precipitaciones escazas y condiciones de saturación más severas en años con precipitaciones abundantes como la campaña evaluada. Por esta razón, es probable que el menor rendimiento de los tratamientos testigos sin N en las zonas más bajas del lote (asociadas a Hapludoles thapto-árgicos) se deba a que dichas áreas hayan sufrido mayores pérdidas del N del suelo y del fertilizante por lavado y/o desnitrificación en un año con precipitaciones muy por encima del promedio histórico.

En los Sitios 4 y 5, que se caracterizaron por la presencia de lomas de textura más gruesa sin presencia de horizonte thapto, se observó un rendimiento significativamente menor en las áreas de mayor elevación, independientemente del nivel de N (Figura 2). Este comportamiento en dichos sitios puede explicarse por un ambiente edáfico menos favorable en estas áreas de menor fertilidad y capacidad de almacenaje de agua. Para estos sitios se estableció una relación lineal y negativa entre la elevación del terreno y el rendimiento del testigo o el rendimiento a la DOEN (Figura 3).

Si bien la elevación del terreno contribuyó a separar áreas dentro de los lotes con diferente nivel de productividad, en las campañas y sitios evaluados no fue un indicador lo suficientemente contundente para explicar la respuesta a N o la DOEN (Figura 3). Probablemente en campañas con menores precipitaciones este

indicador contribuya de manera más contundente a separar áreas dentro del lote con diferente respuesta a la fertilización nitrogenada.

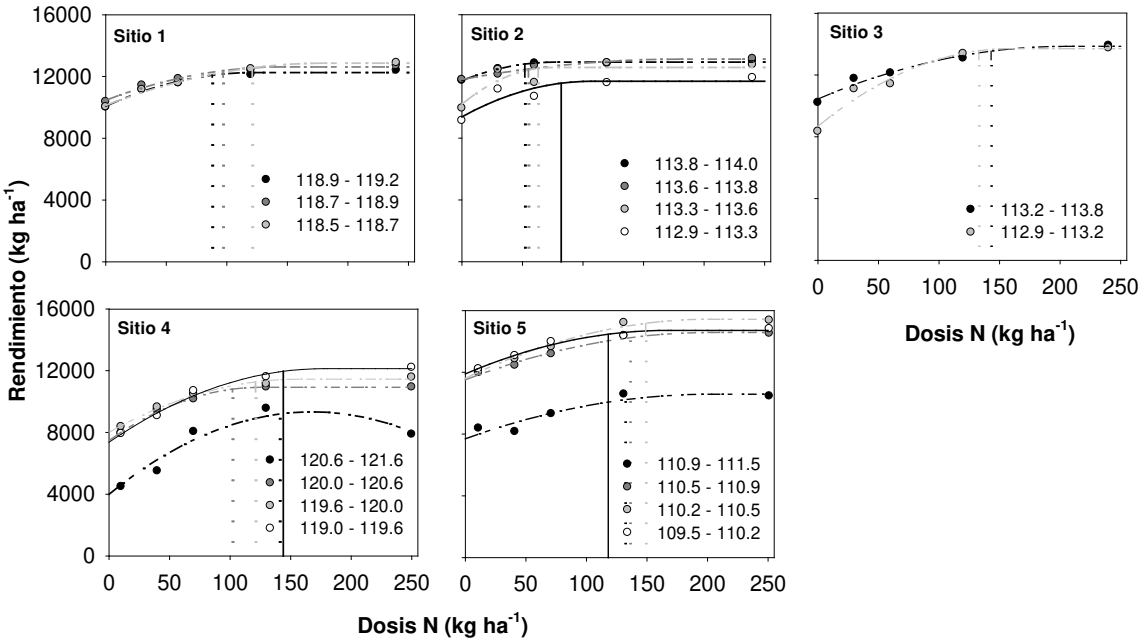



Figura 2: Rendimiento de maíz en función de la dosis de nitrógeno (N) aplicada para cada zona de manejo (ZM) delineadas en base a la elevación del suelo (m) para los 5 sitios del noroeste bonaerense en las campañas 2015/16 y 2016/17. Las líneas verticales indican la dosis óptima económica de N (DOEN) de cada ZM.

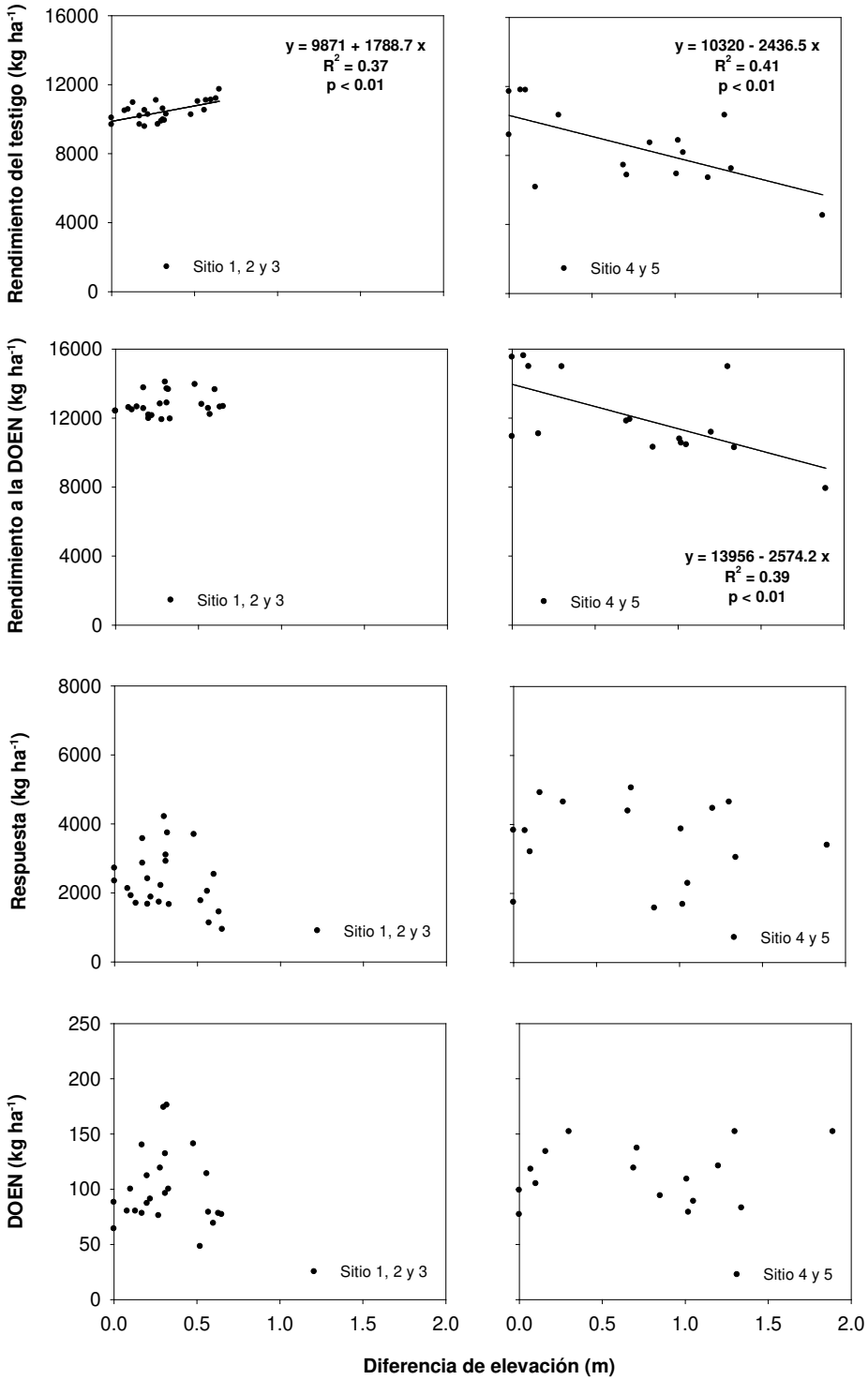



Figura 3: Rendimiento del testigo sin nitrógeno (N), rendimiento a la DOEN, respuesta máxima (rendimiento a la DOEN menos rendimiento del testigo) y dosis óptima económica de N (DOEN) en función de la elevación (m) para los 5 sitios en las campañas 2015/16 y 2016/17.

**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA APARENTE (CEA90)**

En la Figura 4 se observan las curvas respuestas de rendimiento de maíz a la fertilización nitrogenada para cada y ZM delimitada por CEa90. En los Sitios 2 y 3, el rendimiento del cultivo fue menor en las ZM de mayor CEa90, especialmente para los tratamientos testigos, probablemente asociados a mayores niveles de pérdida

de N en estas áreas, de manera similar a lo observado para la elevación. En los Sitios 1 y 2, la respuesta a N y la DOEN fueron mayores en las ZM de mayor CEa90. Considerando conjuntamente los Sitios 1, 2 y 3 el rendimiento del testigo disminuyó y consecuentemente la respuesta a N aumentó a medida que lo hizo la CEa90 (Figura 5). Sin embargo, debido a una gran dispersión de los datos este aumento no se observó de manera consistente para la DOEN como hubiera sido esperable.

Numerosos estudios sugieren el uso de la CEa como una herramienta para mapear la presencia y/o profundidad de capas con alto contenido de arcilla como horizontes argílicos o thaptos (Kitchen *et al.*, 2003; Peralta *et al.,* 2015). Elevados valores de CEa90 se relacionan con la presencia de mayor contenido de arcilla y humedad, sujetos a mayores pérdidas de N del sistema en campañas de excesos hídricos como las de esta experiencia, explicando el menor rendimiento de los tratamientos testigo y mayor respuesta a la fertilización nitrogenada.

En los Sitios 4 y 5 (sin thapto pero con mayor diferencia de elevación), por el contrario, se observó un rendimiento significativamente menor en las áreas de menor CEa90 (asociadas a lomas arenosas) independientemente del nivel de N. Se estableció una relación lineal y positiva entre el rendimiento (del testigo y a la DOEN) y la CEa90 (Figura 5). Por su parte, la respuesta a N y la DOEN mostró un comportamiento cuadrático con la CEa90, disminuyendo a valores altos o bajos de CEa90 (Figura 5). Estudios previos sugieren que suelos con valores relativamente bajos de CEa90 están asociados a las mejores condiciones para el crecimiento vegetal (Kitchen *et al.,* 2003; Peralta *et al.,* 2015). Sin embargo valores muy bajos de CEa90 pueden ser perjudiciales para el crecimiento del cultivo ya que están relacionados a bajos valores de MO, textura más gruesa y reducida retención hídrica (Puntel y Pagani, 2013).

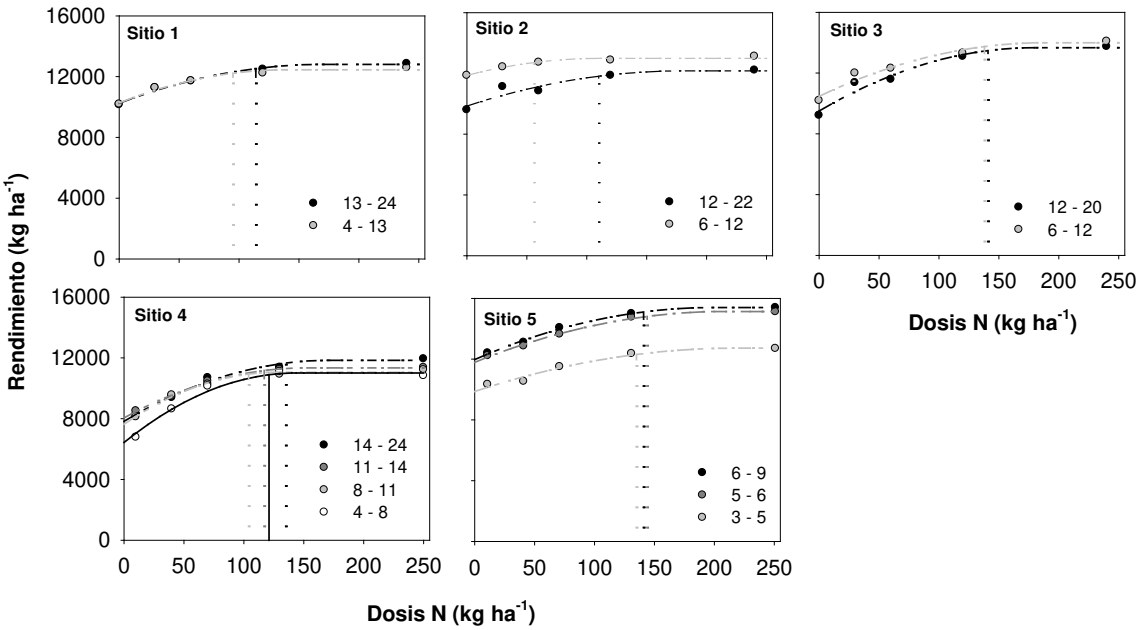



Figura 4: Rendimiento de maíz en función de la dosis de nitrógeno (N) aplicada para cada zona de manejo (ZM) delineadas en base a la conductividad eléctrica aparente (mS $m^{-1}$) del suelo medida a 90 cm de profundidad (CEa90) para los 5 sitios del noroeste bonaerense en las campañas 2015/16 y 2016/17. Las líneas verticales indican la dosis óptima económica de N (DOEN) de cada ZM.

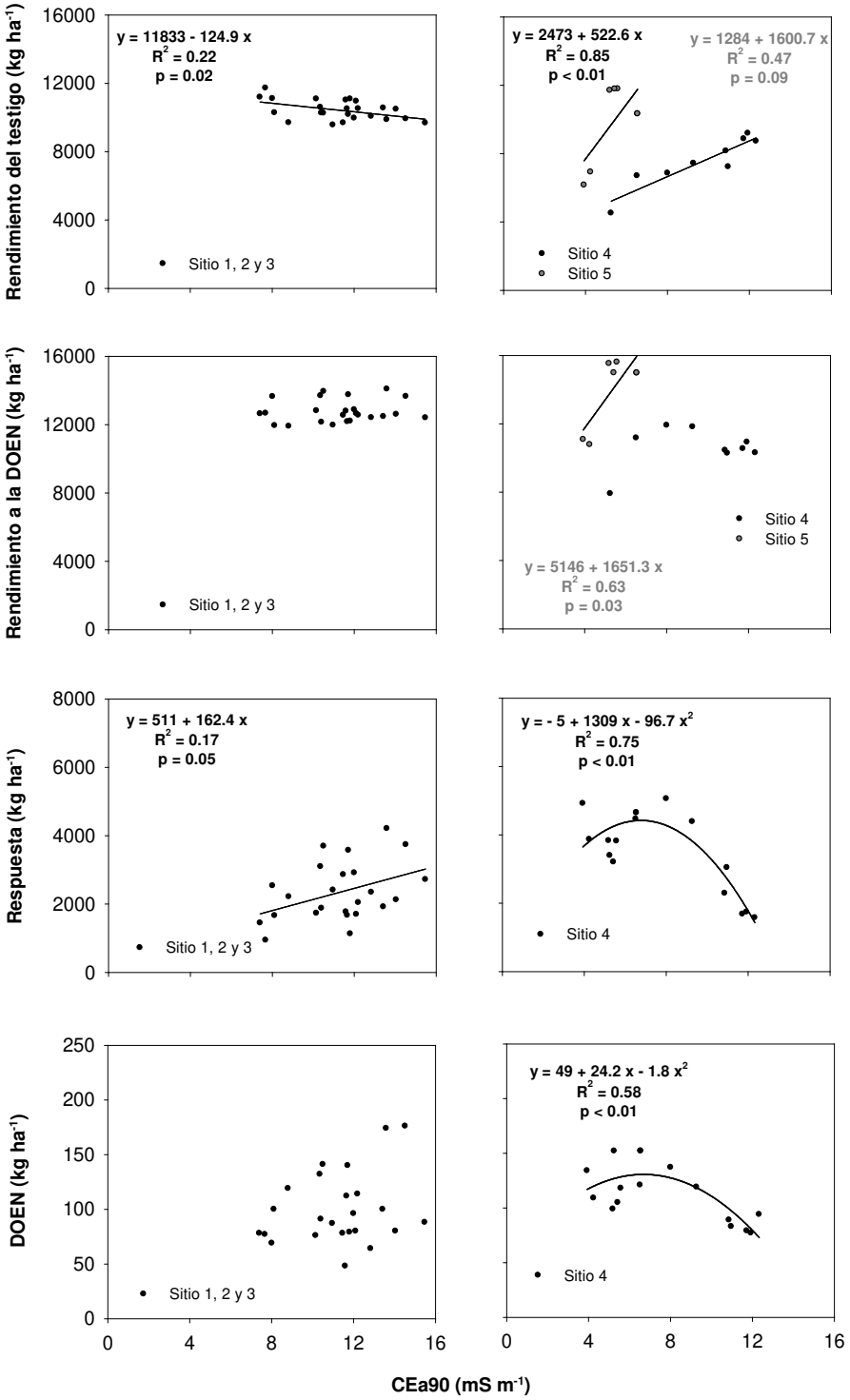



Figura 5: Rendimiento del testigo sin nitrógeno (N), rendimiento a la DOEN, respuesta máxima (rendimiento a la DOEN menos rendimiento del testigo) y dosis óptima económica de N (DOEN) en función de la conductividad eléctrica aparente a 90 cm de profundidad (CEa90) para los 5 sitios en las campañas 2015/16 y 2016/17.

**PROFUNDIDAD EFECTIVA DE SUELO**

Se encontró limitante en la profundidad del suelo en 3 de los 5 sitios. Como resultado de condiciones de crecimiento menos favorable, el rendimiento del cultivo fue significativamente menor en las ZM de menor

profundidad efectiva de suelo en los Sitios 2 y 3 pero especialmente en los testigos sin el agregado de N, probablemente asociados a mayores pérdidas de N por lavado y/o desnitrificación en estas áreas deprimidas (Figura 6). Por otro lado, también se observó mayor respuesta a N y DOEN en los Sitios 1 y 2 en las áreas de menor profundidad efectiva del suelo. Es importante destacar que la influencia de la profundidad efectiva del suelo sobre la respuesta por parte del maíz a la fertilización nitrogenada interacciona de gran manera con las condiciones de crecimiento de la campaña.

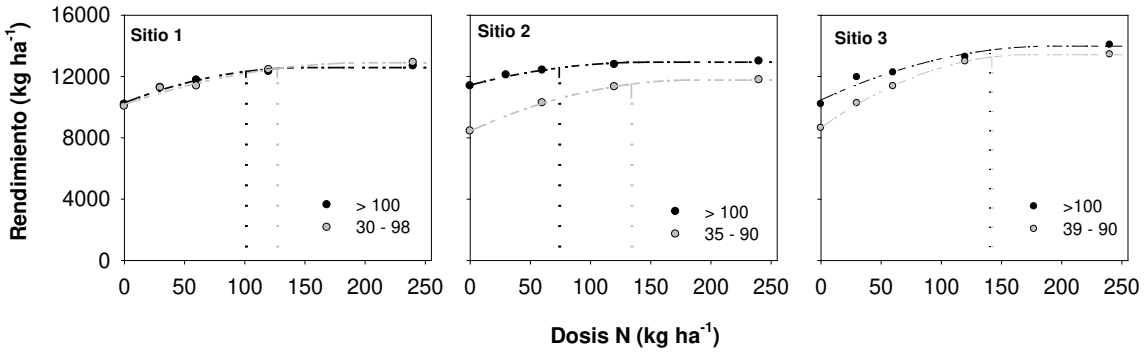



Figura 6: Rendimiento de maíz en función de la dosis de nitrógeno (N) aplicada para cada zona de manejo (ZM) delineadas en base a la profundidad efectiva del suelo para los 5 sitios del noroeste bonaerense en las campañas 2015/16. Las líneas verticales indican la dosis óptima económica de N (DOEN) de cada ZM.

**CONSIDERACIONES FINALES**

Las dos campañas evaluadas se caracterizaron por la ocurrencia de precipitaciones muy por encima del promedio histórico lo que derivó en adecuada disponibilidad hídrica para el cultivo pero también en condiciones predisponentes para pérdidas de N significativas. Bajo estas condiciones pudieron determinarse ZM dentro de los lotes basadas en elevación, CEa90 y profundidad efectiva de suelo que difirieron en forma consistente en el rendimiento del cultivo pero no necesariamente en la respuesta a N y/o DOEN. Sin embargo, la respuesta a N tendió a aumentar con la CEa90 en los lotes más planos con presencia de thapto (donde mayor CEa se asocia a menor profundidad efectiva de suelo, Sitios 1, 2 y 3), pero disminuyó a medida que la CEa90 aumentó en los lotes topográficamente más desuniformes con presencia de lomas arenosas (Sitios 4 y 5). Cuando las ZM fueron delineadas en función de la profundidad efectiva del suelo, se observó mayor respuesta a N y DOEN en las zonas más someras (presencia de horizonte thapto sujeto a mayores pérdidas de N) en 2 de los 3 sitios que presentaron variabilidad en esa propiedad.

Es necesario seguir evaluando el desempeño de estas herramientas de caracterización ambiental en otras campañas y sitios para determinar en qué situaciones su empleo puede ser beneficioso para aumentar la eficiencia en el uso de N mediante la fertilización con dosis variable.

**BIBLIOGRAFÍA**

Al-Kaisi M.M., Yin X. 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. Agron J. 95:1475-1482.

Barraco, M.; Diaz-Zorita, M. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos. Ciencia del suelo 23 (2) 197-203.

Basso, B.; Fiorentino, C.; Cammarano, D.; Cafiero, G.; Dardanelli, J. 2012. Analysis of rainfall distribution on spatial and temporal patterns of wheat yield in Mediterranean environment. Eur. J. Agron. 41: 52-65.

Basso, B.; Ritchie, J.T. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. Agr. Ecosyst. Environ. 108: 241-329.

Bermudez, M.; Mallarino, A.P. 2007. Impacts of variable-rate phosphorus fertilization based on dense grid soil sampling on soil-test phosphorus and grain yield of corn and soybean. Agron. J. 99: 822-832.

Bongiovannil, R. 2002. A spatial econometrics approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production. Ph.D. Thesis, Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN (EUA), 280 p.

Bray, R.H.; Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.

Derby, N.E.; Francis, X.M.; Casey, X.M.C.; Franzen, D.W. 2007. Comparison of nitrogen management zone delineation methods for corn grain yield. Agron. J. 99: 405-414.

Díaz- Zorita, M.; Duarte, G.A. 1997. Fertilización nitrogenada de maíz en el oeste bonaerense. *EN:* AIANBA. Maíz. VI Congreso Nacional: Compendio de trabajos. Pergamino: AIANBA. Tomo II, pp. 144-149.

Doerge, T.A. 1999. Management Zone Concepts. S.l: Potash & Phosphate Institute. Site-Specific Management Guidelines 2, 4 p.

Ferguson, R.B.; Lark, R.M.; Slater, G.P. 2003. Approaches to management zone definition for use of nitrification inhibitors. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 937-947.

Fiez, T.E.; Pan, W.L.; Miller, B.C. 1995. Nitrogen efficiency analysis of winter wheat among landscape positions. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1666-1671.

Franzen D. W., A. D. Halvorson and V. L. Hoffman. 2000. Management zones for soil N and P levels in the Northern Great Plains. *EN*: PC et al. (Ed.) Proc. Int. Conf. on Prec. Agric, 5th Bloomington MN. 16-19 Julio 2000. ASA, CSSA, SSSA. Madison WI.

Fridgen J.J., Kitchen N.R., Sudduth K.A., Drummond S.T., Wiebold W.J., Fraisse C.W. 2004. Management zone analyst (MZA). Agron. J. 96:100-108.

Gianello C., Bremner J. 1986. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil 1. Communications in Soil Science & Plant Analysis. 17:215-236.

Harguindeguy, J. 1995. Maíz 94/95: Análisis de Campaña. CREA América II.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, y W.L. Nelson. 2005. Soil fertility and fertilizers. 7th ed. Prentice Hall, Englewood Cliff s, NJ. p. 515.

Jaynes D.B.; Kaspar T.C.; Colvin, T.S. 2011. Economically Optimal Nitrogen Rates of Corn: Management Zones Delineated from Soil and Terrain Attributes. Agron. J. 103: 1026-1035.

Keeney, D.R.; Nelson, D.W. 1982. Nitrogen inorganic forms. *EN:* Page, A.L. Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological properties. Madison: ASA-SSSA. Agronomy 9, pp. 643-698.

Kitchen N.R., Drummond S.T., Lund E.D., Sudduth K.A., Buchleiter G.W. 2003. Soil Electrical Conductivity And Topography Related To Yield For Three Contrasting Soil–crop Systems. Agron J. 95:483-495.

Lark R.M., Stafford J.V. 1997. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. Annals of Applied Biology. 130:111-121.

Lund, D.L.; Colin, P.E.; Christy, D.; Drummond, P.E. 1999. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. *EN:* Robert, P.C.; Rust, R.H.; larson, W.E.(Ed).Precision Agriculture. Madison: ASA-CSSA-SSSA. pp.1089-1100.

Mamo, M.; Malzer, G.L.; Mulla, D.J.; Huggins, D.R.; Strock, J. 2003. Spatial and temporal variation in economically optimum nitrogen rate for corn. Agron. J. 95: 958-964.

Martín, N.J.; Cabrera, R. 1987. Determinación de la composición mecánica (textura) del suelo mediante la utilización del hidrómetro (método de Booyoucus). *EN:* Manual de actividades prácticas de suelos. La Habana, Cuba: Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. p. 224.

Meisinger, J.J.; Randall, G.W. 1991. Estimating nitrogen budgets for soil-crop systems. *EN*: Folletettal, R.F. Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. Madison: SSSA. pp. 85-138.

Pagani, A.; Echeverría, H.E.; Sainz Rozas H.R.; Barbieri, P.A. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo. 26(2): 183-193.

Pagani, A.; Mallarino, A.P. 2015. On-farm evaluation of corn and soybean grain yield and soil pH responses to liming. Agron. J. 107(1): 71-82.

Pan, W.L.; Huggins D.R.; Malzer, G.L.; Douglas C.L.; Smith, J.L. 1997. Field heterogeneity in soil–plant nitrogen relation-ships: Implications for site-specific management. *EN:* Pierce, F.J: Sadler, E.J. (Ed.). The state of site-specific management for agriculture. Madison: ASA, CSSA, and SSSA. pp 81–99.

Pautasso, J.M.; Albarenque, S.; Schulz, G.; Kemerer, A.; Bedendo, D.; Melchiori, R. 2010. Delimitación de zonas de manejo mediante variables de suelo y validación para maíz. *EN:* INTA, EEA Manfredi. 9º Curso internacional de Agricultura de precisión, 4º Expo de maquinarias precisas, 2º Gira tecnológica de precisión. Manfredi: Ediciones INTA. pp.207-214.

Peralta N.R., Costa J.L., Balzarini M., Castro Franco M., Córdoba M., Bullock D. 2015. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. Comput Electron Agric. 110:103-113.

Pierce, F.J.; Nowak, P. 1999. Aspects of precision agriculture. EN: Spark, D. (Ed) Advances in Agronomy. San Diego: Academic Press. 67: 1-85.

Prece, N., C. Álvarez y L. Ferreras. 2014. Productividad y fertilidad en el cultivo de maíz en suelos con diferente aptitud productiva den noroeste bonaerense. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca, CD.

Puntel L. y A. Pagani. 2013. Site-specific analysis of maize yield response to nitrogen in Argentina. ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings Madison, Wis:1 p.

Puntel, LA, Pagani A, Archontoulis, SV. 2018. Prediction of Corn Economic Optimum Nitrogen Rate in Argentina. International Conference on Precision Agriculture, 24-27 June, Montreal, Canada.

Rimski-Korsakov H., Rubio G., Lavado R.S. 2009. Effect of water stress in maize crop production and nitrogen fertilizer fate. J Plant Nutr. 32:565-578.

Ritchie S., Hanway J., Benson G. 1992. How a corn plant grows. Iowa State Univ Sci Tech Coop Ext Serv Rep. 48.

Robertson, G.P.; Paul, E.A.; Harwood, R.R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. Science 289: 1922-1925.

Sambroski, S.M.; Tremblay, N.; Fallon, E. 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. Agron. J. 101: 800-816

Scharf, P.C.; Kitchen, N.R.; Sudduth, K.A.; Davis J.G.; Hubbard, V.C.; Lory, J.A. 2005. Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn. Agron. J. 97: 452-461.

Scharf, P.C.; Lory, J.A. 2000. Calibration of remotely-sensed corn color to predict nitrogen needs. In P.C. Robert et al. (ed.) Precision agriculture [CD-ROM]. Proc. Int. Conf., 5th, Minneapolis, MN 16–19 July 2000. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Walkley, A.; Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

roca fértil

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

# FASTMAPPING: COMO HERRAMIENTA PARA LA ZONIFICACIÓN INTRALOTE

Córdoba M., Paccioretti P., Bruno C., Balzarini M.

*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, CONICET, Córdoba-Argentina.*

*marianoacba@agro.unc.edu.ar*

**RESUMEN**

La difusión de tecnologías agrícolas que producen datos espaciales ha generado la necesidad de herramientas informáticas integradas para el mapeo de variabilidad y co-variabilidad espacial a escala fina. La interdependencia de estas variables en un continuo es útil para comprender la variación del rendimiento e identificar principales contribuyentes. Las co-variables de sito también son útiles para clasificar los puntos relevados en conjuntos homogéneos respecto a las propiedades medidas ya sea para analizar el impacto de diferentes tratamientos (manejos) en cada *clúster* como para delimitar zonas de manejo (ZM). Para el tratamiento estadístico de variables de sitio se usan diferentes softwares ya que es necesario transitar diferentes etapas del análisis: pre-procesamiento y depuración de bases de datos, modelación y predicción espacial y clasificación de sitios. FastMapping es una aplicación web interactiva, con una interfaz amigable desarrollada en lenguaje R y que permite depurar datos espaciales, ajustar y seleccionar automáticamente variogramas para mapear la variación espacial de una variable de interés. Obtenida una base de datos multivariada que incluye diferentes variables, re-escaladas para un mismo sitio, FastMapping permite identificar ZM y obtener reportes de estadísticas descriptivas. El algoritmo principal para la identificación de ZM es *KM-sPC*, un método de *clúster* basado en la aplicación del algoritmo *fuzzy k-means* sobre las componentes principales espaciales resultantes del Análisis de Componentes Principales espacial (MULTISPATI-PCA). Los usuarios pueden obtener el mapa de rendimiento o de propiedades de suelo, así como un mapa de varianza de predicción, estadísticas de error de predicción y la identificación de ZM sin necesidad de manipular códigos de programación. FastMapping se encuentra disponible en forma libre en http://fastmapping.psi.unc.edu.ar/

**Palabras clave: a*plicación web, geoestadística, mapa de rendimiento, zonificación***

## INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías en maquinarias agrícolas asociadas a la agricultura de precisión (AP) proporcionan la oportunidad de medir, con mayor precisión, la variabilidad espacial en el rendimiento cosechado y en numerosas variables de sitio georreferenciadas dentro del lote. En el análisis de los datos georreferenciados es de interés explorar la asociación de la variabilidad espacial entre las variables analizadas y modelar la variabilidad espacialmente estructurada de una o varias variables. Aun cuando se hacen mediciones intensivas de una propiedad sobre el terreno, éstas son discretas por lo que deben realizarse interpolaciones para construir los mapas de variación espacial en un continuo. La interpolación *kriging* (Webster y Oliver, 2007), basada en el ajuste de funciones de variograma, tiene la pericia de predecir valores de la variable aleatoria en sitios sin mediciones para producir mapas de variabilidad espacial en un continuo.

Uno de los objetivos centrales de la AP es la obtención de zonas de manejo (ZM) definidas por factores limitantes del rendimiento, que luego podrán ser manejadas de acuerdo con sus propiedades intrínsecas. Las ZM constituyen áreas con características similares, tales como textura, topografía, estado hídrico y niveles de nutrientes del suelo (Moral et al., 2010). Diferentes protocolos han sido usados para la delimitación de ZM, los mismos incluyen análisis univariados (por ejemplo, solo basados en rendimientos) hasta análisis multivariados. Córdoba et al. (2013) publicaron un protocolo de zonificación de naturaleza multivariada (*KM-sPC*), basado en un análisis de *cluster* (*fuzzy k-means*) sobre las componentes principales espaciales

(MULTISPATI-PCA) de las variables de sitio. La implementación de este tipo de protocolos es más exitosa cuando se realiza sobre datos pre-procesados, depurados (eliminación de *outliers* globales y espaciales) y modelando a *priori* los patrones espaciales de cada variable para adaptar la información de diferentes fuentes y formatos a una grilla común (Taylor et al., 2007; Córdoba et al., 2016). MULTISPATI-PCA es una extensión del análisis de componentes principales que considera la co-variación espacial entre variables de sitio y puede ser usada para obtener combinaciones lineales de éstas. Cuando los agrupamientos de sitios se realizan a partir de estas combinaciones, las cuales capturan información espacial, las clasificaciones de sitio producen zonas más continuas y de mayores diferencias en rendimiento (Córdoba et al. 2013).

La implementación de las técnicas geoestadísticas y los análisis multivariados restringidos espacialmente puede realizarse utilizando el software R (R Core Team, 2018). Este software representa una herramienta muy potente para explorar bases de datos espaciales de gran volumen y realizar el posterior análisis estadístico. Sin embargo, en la práctica su implementación, en ambientes no técnicos, es escasa por demandar conocimientos de programación. En este trabajo, se describe el software FastMapping que hemos desarrollado para automatizar, en una plataforma amigable, un protocolo de análisis geoestadístico que incluye el pre-procesamiento casi automático de datos georreferenciados, la modelización de la variabilidad espacial y la delimitación de zonas homogéneas mediante el algoritmo multivariado KM-sPC. La aplicación fue creada usando la librería shiny (Chang et al., 2018) e involucra librerías especializadas que permiten integrar en un mismo ambiente las distintas etapas de procesamiento que en otros entornos hay que realizar separadamente (Taylor et al. 2007; Córdoba et al., 2016). El objetivo de este trabajo es especificar el paso a paso de los protocolos implementados en el software FastMapping para obtener mapas de variabilidad espacial de características de sitio e ilustrar la delimitación de zonas homogéneas en sentido multivariado.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### PROTOCOLO PARA ANÁLISIS DE VARIABILIDAD ESPACIAL

*Depuración de datos*

La presencia de valores raros entre los datos de una variable impacta los estudios de variabilidad espacial. Consecuentemente, la depuración previa o pre-procesamiento de los datos debe ser el punto de partida en un protocolo de análisis de datos espaciales (Figura 1) (Taylor et al., 2007; Sun et al., 2013; Córdoba et al., 2016).

*Eliminación de bordes*

La primera opción de depuración consiste en la remoción de datos erróneos relacionados a los efectos de bordes. Este tipo de efectos, frecuentemente denominado “efecto cabecera”, es común de observar en mapas de rendimiento. FastMapping, por defecto eliminará las observaciones que se ubican a una distancia de hasta 20 m desde los límites del lote, correspondiente a más de una pasada de la cosechadora. Otros valores de zona buffer, pueden ser ingresados por el usuario.

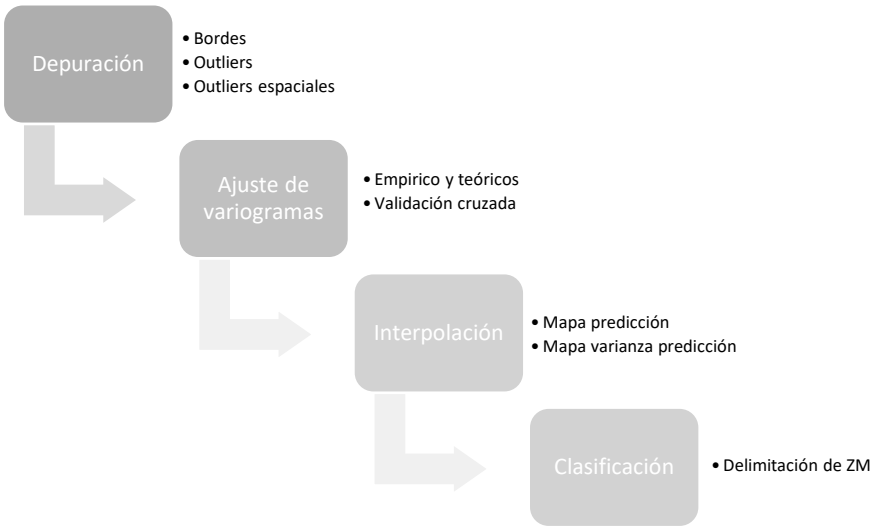



Figura 1. Pasos del protocolo analítico para el análisis de variabilidad espacial implementado en FastMapping.

*Eliminación de outliers globales*

Los *outliers*, o valores atípicos, son observaciones con valores que se encuentran fuera del patrón general o distribución del conjunto de datos. Estas observaciones se pueden eliminar a través de un proceso donde se complementan distintas técnicas y teorías: 1) el conjunto de datos se limita dentro de un rango de variación razonable donde los valores máximos y mínimos se obtienen desde el conocimiento previo de su distribución, 2) para el conjunto de datos de una variable, se calcula la media y la desviación estándar (DE) y se identifican los valores que se encuentran fuera de la media ± 3 DE. Teóricamente, casi el 90% de los datos de cualquier variable aleatoria se encuentran entre la media ± 3 SD. En mapas de rendimiento donde los datos son sesgados por procesos no aleatorios tales como malas lecturas de monitores, cosechadoras funcionando a medio llenar o con el cabezal hacia abajo sobre áreas cosechadas, puede realizarse una modificación de estos límites (Taylor et al., 2007).

*Eliminación de outliers espaciales*

Los *outliers* espaciales son datos que difieren significativamente de su vecindario, pero se sitúan dentro del rango general de variación del conjunto de datos. Existen herramientas estadísticas diseñadas específicamente para identificarlos. Tal es el caso del índice autocorrelación espacial local de Moran (IMl) (Anselin, 1995) y el diagrama de dispersión de Moran (DM) (Anselin, 1996). Dado un grupo de datos que pertenecen a diferentes vecindarios, el IMl es aplicado a cada dato individualmente y da idea del grado de similitud o diferencia entre el valor de una observación en un sitio respecto al valor de la observación en sus sitios vecinos. El DM permite visualizar y modelar esta relación de similitud de cada valor observado respecto a sus observaciones vecinas. En una primera etapa los datos eliminados son aquellos con valores de IMl negativos y estadísticamente significativos. Luego, se ajusta un modelo de regresión lineal en base al DM permitiendo identificar nuevos valores atípicos espaciales. Para ello se calculan diferentes criterios de diagnóstico del modelo de regresión ajustado (Distancia de Cook, LEVERAGE, DFFITS, DFBETAS y COVRATIO) (Draper y Smith, 1998) y se identifica a una observación como *outlier* espacial si al menos uno de los criterios de diagnóstico la detecta como influyente.

Para generar los vecindarios de cada observación se consideran sitios vecinos a puntos contiguos ubicados dentro de un rango de distancia pre-establecido. En otros estudios en los que se procesaron mapas de rendimiento provenientes de la región pampeana Argentina, la distancia utilizada, con buenos resultados, como límite para definir los puntos vecinos de cada observación fue de 20 m (Vega et al., 2016). Este es el valor usado por defecto en FastMapping.

*Interpolación espacial*

La teoría de variables regionalizadas define funciones para modelar variabilidad espacial denominadas variogramas (Matheron, 1971). Bajo este marco teórico, el primer paso para analizar variabilidad espacial es construir un variograma empírico (a partir de los datos). Los parámetros de la función variograma son: la varianza nugget o efecto pepita, la varianza estructural o sill parcial y el rango (Webster y Oliver, 2007). Luego se ajusta un modelo teórico de variograma sobre el variograma empírico. El variograma ajustado es usado para obtener predicciones de la variable de interés para cualquier interdistancia perteneciente al dominio espacial estudiado. Existen distintos modelos teóricos entre ellos los más usados son: modelo exponencial, modelo esférico y el modelo gaussiano. En un procesamiento de 600 mapas de rendimiento en el que se ajustaron estos tres modelos teóricos, en un 90% de los mapas el modelo exponencial fue el de mejor ajuste (Vega et al., 2016). La selección del modelo teórico de mejor ajuste se realizará mediante un proceso de validación cruzada que evalúa la capacidad predictiva del modelo de correlación espacial seleccionado (Webster y Oliver, 2007).

*Predicción espacial*

*Kriging* es una técnica utilizada en geostadística para realizar interpolaciones espaciales y poder predecir los valores de la variable en sitios no muestreados. El método *kriging* proporciona el mejor predictor lineal para el valor de la variable en un sitio, suministrando además un error de predicción conocido como varianza *kriging*, que depende del modelo de variograma ajustado y de las localizaciones de los datos originales. La varianza *kriging* brinda la posibilidad de analizar la calidad de las predicciones obtenidas por interpolación. Para evitar el uso de información proveniente de muestras redundantes, el método *kriging* pondera de forma distintas muestras que están muy cerca entre sí y de la misma región respecto a muestras que estén en lados opuestos al sitio al que se quiere asignar un valor por interpolación. Los parámetros del variograma ajustado tienen importancia a la hora de asignar ponderadores a las muestras que rodean el punto a interpolar.

Entre las opciones de interpolación espacial se destacan los métodos de *kriging* ordinario, simple y universal. En el *kriging* ordinario la media de la variable es estimada localmente. En caso de conocer la media de la variable, hecho que raramente ocurre, se utiliza el *kriging* simple. En el *kriging* universal la media es estimada y se incluye también la influencia de una tendencia espacial de los datos. La predicción asignada a los puntos incógnita puede realizarse de manera puntual (*kriging* puntual) o definiendo bloques (*kriging* en bloques) (Webster y Oliver, 2007). La interpolación puntual es la estimación del valor de la variable en el sitio incógnita, mientras que la interpolación por bloques estima la media de puntos de un área predeterminada que rodea al sitio incógnita. La interpolación por bloques (que produce un "suavizado" de las estimaciones) suele correlacionar mejor con los valores verdaderos. Así, la interpolación espacial puede realizarse utilizando todos los datos simultáneamente (*kriging* global) o alternativamente puede usarse la información de datos vecinos para la realizar la predicción sobre un punto dado (*kriging* local). Cuando se trabajan bases de datos con miles de observaciones pueden producirse problemas computacionales referidos a falta de memoria. Para bases de datos de tamaños grandes (n> 1000) utilizar *kriging* global puede ser lento (Bivand et al., 2013). En el procesamiento de mapas de rendimiento las bases de datos tienen usualmente más de 1000 datos. Por ello, se recomienda la opción *kriging* local.

*Protocolo para la delimitación de zonas homogéneas en sentido multivariado*

La clasificación de sitios puede realizarse utilizando una única variable, por ejemplo, con datos de rendimientos históricos o datos de índices de vegetación como NDVI. Alternativamente, también pueden utilizarse varias variables para realizar una ambientación multidimensional o clasificación multivariada. Para ello, sobre la base de datos depurada y re-escalada se pueden aplicar diferentes algoritmos del análisis de *cluster* (Stafford et al., 1998). Un algoritmo común en AP es el método no jerárquico *fuzzy k-means* (Bezdek,

1981). Sin embargo, en varias aplicaciones de *fuzzy k-means*, se observó que el algoritmo puede presentar el inconveniente de una alta fragmentación de las zonas porque, como la mayoría de los algoritmos de clasificación, ignora la naturaleza espacial de los datos georreferenciados (Frogbrook y Oliver, 2007). Para mitigar este problema, FastMapping realiza un análisis de *cluster* del tipo *fuzzy k-means* pero sobre las componentes principales obtenidas desde un análisis de componentes principales espacial (Córdoba et al., 2013). El método propuesto al incorporar la información espacial facilita la obtención de clases más contiguas reduciendo la fragmentación de las ZM delimitadas. Para realizar el Análisis de Componentes Principales espacial, se requiere primero calcular la matriz de ponderación espacial en forma similar a la realizada para el cálculo del índice de Moran. Para determinar el número óptimo de clases, los coeficientes de partición y de entropía de la clasificación (conocidos también como *fuzziness performance index*-FPI y *normalized classification entropy*-NCE) (Bezdek, 1981) son frecuentemente utilizados. Otros índices tales como Xie-Beni (Xie y Beni, 1991), Fukuyama-Sugeno (Fukuyama y Sugeno, 1989), exponente de proporción (Windham, 1981) también pueden ser calculados con tal fin. FastMapping, calcula todos los índices mencionados y también los combina obteniendo una métrica que resume la información brindada por cada uno (Galarza et al., 2013). Para aplicar el algoritmo de *cluster fuzzy k-means*, un parámetro a definir es el exponente difuso. En el contexto de generación de zonas de manejo en AP, usualmente se utiliza un valor de 1,3 (Odeh et al., 1992). Otra opción para definir es la distancia de similitud incluida en la función de optimización, por defecto se utiliza la Euclídea.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PROTOCOLO PARA ANÁLISIS DE VARIABILIDAD ESPACIAL

*Depuración de datos*

En la pestaña *Depuration* de FastMapping una de las opciones de limpieza de datos consiste en la remoción de datos erróneos debido a los efectos de bordes y cabecera de lote (Figura 2). La opción por defecto elimina las observaciones que se ubican a una distancia de hasta 20 m desde los límites del lote. El usuario puede modificar este límite como así también no utilizar esta opción de depuración. Para detectar *outliers* globales FastMapping primero elimina por defecto a datos con valor menor o igual a cero. El usuario también puede especificar un valor máximo admisible para la variable analizada. Posteriormente, identifica y elimina datos que se encuentran por fuera del intervalo media ± 3 DE. Finalmente, para identificar *outliers* espaciales el software considera por defecto a sitios vecinos a aquellos contiguos ubicados dentro de un rango de distancia máximo de 20 m. Los limites mínimos y máximos, la DE y la distancia para definir el vecindario también pueden ser modificadas por el usuario. Como resultado de la depuración se generará una pestaña (*Data Extracted*) en la ventana *Results* que contiene la clasificación de cada observación donde se considera si el dato pertenece al borde del espacio mapeado, si es *outlier* global u *outlier* espacial y se mostrará la ubicación espacial de cada tipo de observación en la pestaña *Plot Condition Depurated* (Figura 4).

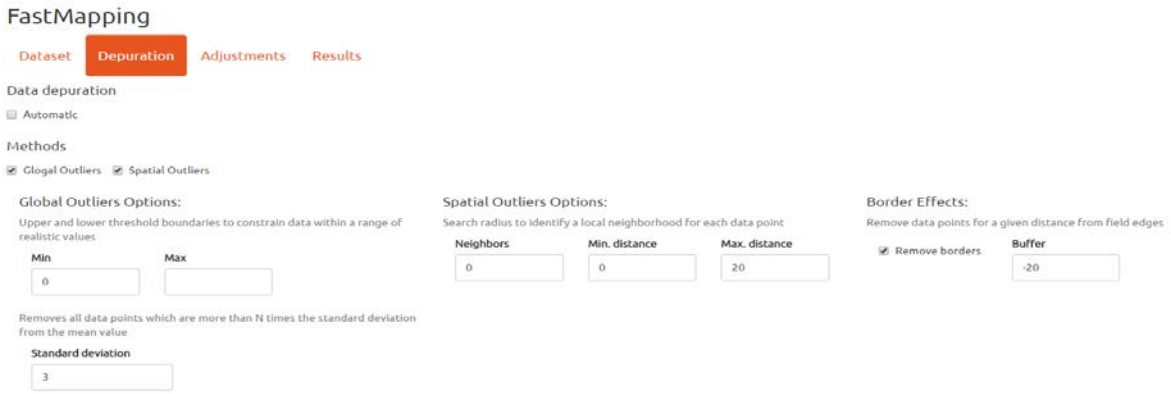



Figura 2. Opciones de depuración de datos espaciales de FastMapping

*Interpolación espacial*

El siguiente paso será el ajuste de un variograma como función para modelar la variabilidad espacial de la variable regionalizada. Se realizará el ajuste de varios modelos de correlación espacial y se selecciona aquel que presenta mejor performance en la predicción espacial del fenómeno bajo estudio, *i.e.* menor error de predicción. Los modelos que pueden seleccionarse para el ajuste son: *Exponential* (exponencial), *Spherical* (esférico), *Gaussian* (gaussiano), *Matern*, M. *Stein's* (parametrización de Matern Stein), *Circular*, *Linear* (lineal), *Power* (potencia), Wave (ondulado), Pentaspherical (pentaesférico), Hole (holístico) (Figura 2). Con la opción *Automatic* se ajustan todos esos modelos y se identifica el mejor en términos de error de predicción (Figura 3).

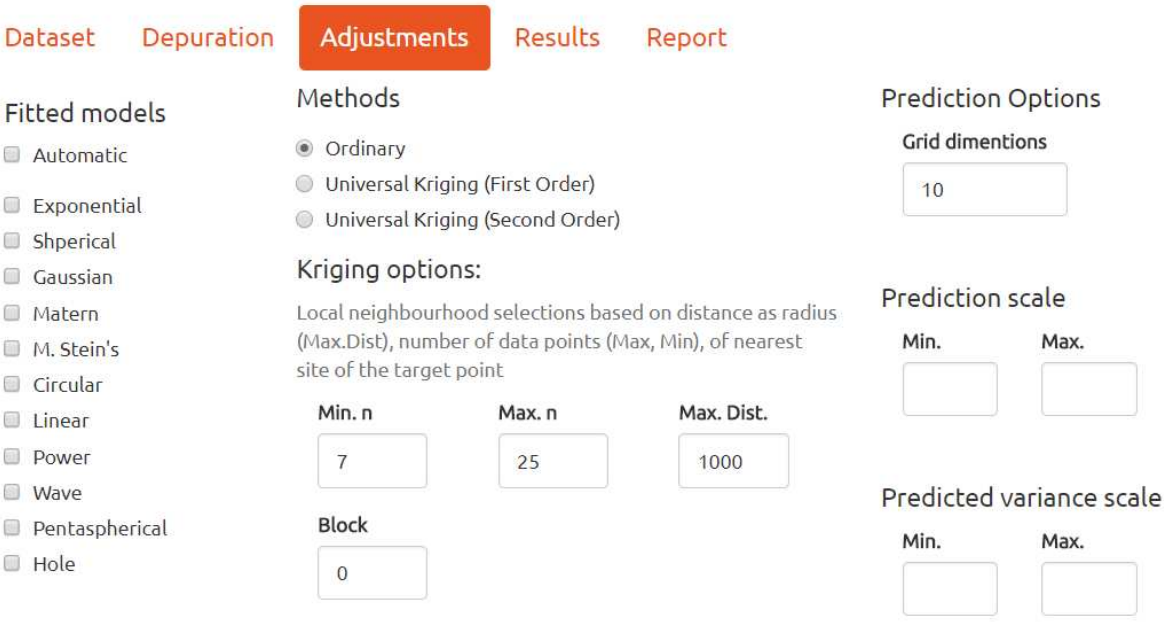



Figura 3. Opciones de ajuste de modelos de variograma e interpolación espacial de FastMapping

En todos los ajustes que se realizan se asume que la variación del valor de la variable con el espacio es igual en todas las direcciones de éste (variograma omnidireccional). Los ajustes de los modelos se realizan por el método de mínimos cuadrados ponderados (WLS). FastMapping estima los parámetros iniciales de acuerdo con lo especificado en la descripción del paquete *automap*. Una opción que puede ser elegida es realizar la interpolación y el ajuste previo del variograma contemplando tendencias con las coordenadas (*kriging* universal) de primer orden o de segundo orden.

En agricultura de precisión cuando se utilizan datos registrados con sensores proximales se recomienda realizar la predicción usando kriging en bloque con tamaño similar a la separación de las líneas de muestreo, mientras que para datos recolectados con monitores de rendimiento la dimensión recomendada es de 20 m (Taylor et al., 2007) (opción por defecto). En la opción *Methods*, el usuario puede elegir el número mínimo (*Min. n.*) y máximo (*Max. n.*) de puntos utilizados para realizar la estimación en cada uno de los sitios de la grilla de predicción. Esta opción permite realizar interpolación en un contexto local (*Kriging neighbourhood*). Este tipo de interpolación también puede contemplarse definiendo una distancia máxima (*Max. Dist.*) la cual indica que únicamente las observaciones que se encuentran dentro de dicho rango (hasta la máxima distancia espacial) son usadas para la predicción. En caso de que la predicción se realice utilizando toda la información disponible (*kriging* global) se debe escribir en la opción *Max. n.* y en *Dist. Max.* la sigla *Inf* (infinito).
En la opción *Prediction Options*, se especifica la dimensión de la grilla de predicción (*Grid dimentions*). Por ejemplo, si se trabaja con coordenadas cartesianas y se ingresa el valor 10, la grilla de predicción será de 10 m × 10 m. En caso de que se disponga de las coordenadas de los puntos que conforman el polígono del área sobre la cual se desea realizar la interpolación, estas pueden cargarse desde un archivo *.txt* utilizando para ello la opción *Upload edges file* en la pestaña *Dataset*. En caso de no contar con esta información, el software creará un polígono utilizando los datos que tienen ubicaciones espacialmente marginales. Con las opciones *Hemisphere* y *Zone*, permite asignar el hemisferio y la zona o faja UTM a la cual pertenecen los datos. Estos son importantes para generar un mapa *geotiff* que contiene la información de la predicción espacial realizada. Con las opciones *Prediction scale* y *Predicted variance scale*, se pueden especificar las escalas mostradas en los mapas de interpolación resultante, tanto de los valores predichos como de su varianza de predicción.
Cuando se selecciona la pestaña *Results* (Figura 4) el software evalúa la capacidad predictiva de cada modelo de correlación espacial seleccionado. Para ello, realiza una validación cruzada del tipo *N-fold*, en la cual los datos son particionados en *N* grupos excluyentes. Luego se realiza la predicción para todas las observaciones de un grupo utilizando los *N*-1 grupos de datos restantes (Pebesma, 2004). Con las diferencias entre los valores observados y predichos se calcula el error cuadrático medio de predicción, que se expresa como raíz cuadrada (RMSE). El modelo de mejor capacidad predictiva es aquel con menor RMSE. Una vez que el modelo es seleccionado, el variograma experimental y teórico ajustados pueden ser visualizados en la opción *Plot* como así también el mapa de variabilidad espacial y de varianza de predicción, obtenido mediante interpolación *kriging*. El panel *Results* también muestra los parámetros estimados para el modelo ajustado y seleccionado junto a la RMSE y el error de predicción relativo a la media en porcentaje.
FastMapping integra los pasos del análisis espacial en un único ambiente. Para ilustrar el uso de FastMapping en datos de rendimiento de soja, las opciones utilizadas para la depuración fueron: rendimiento mínimo y máximo de 0 y 6 t ha-1, respectivamente; remoción de bordes de 20 m; 3 DE para eliminación de *outliers* globales y 20 m para la definición de los vecindarios en la eliminación de *outliers* espaciales. Las opciones de interpolación fueron las disponibles por defecto incluyendo el ajuste de todos los modelos disponibles. FastMapping generó un mapa que ajustó bien a la estructura espacial subyacente.

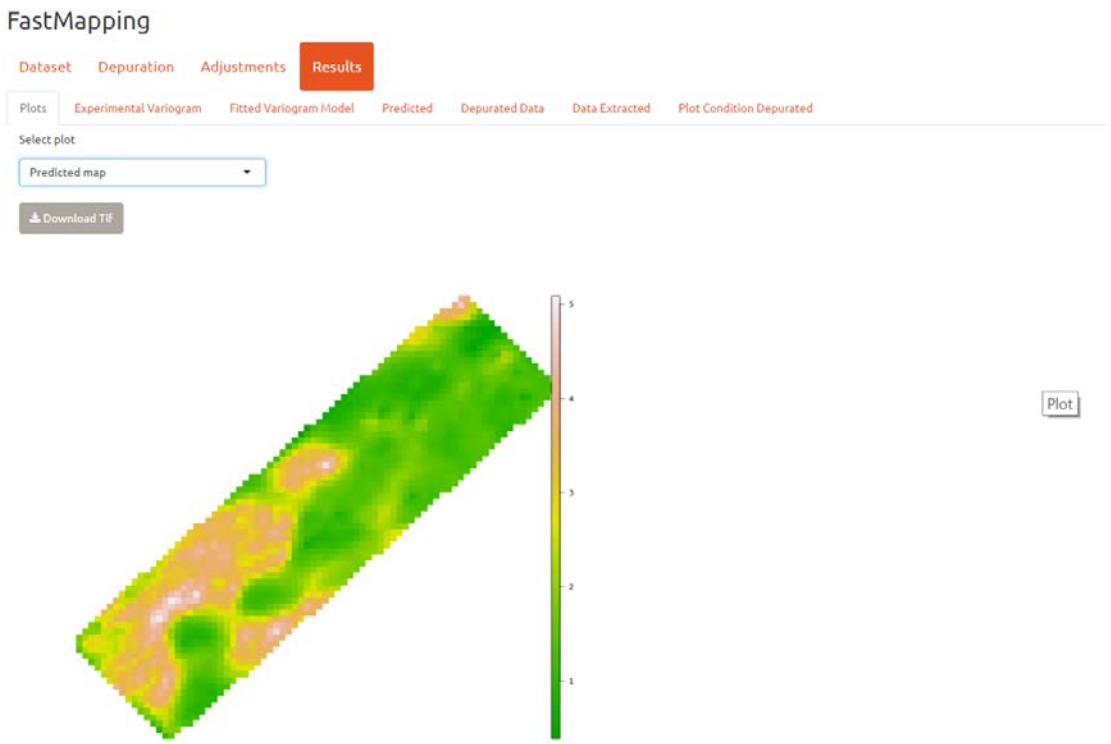


Figura 4. Mapa de variabilidad espacial del rendimiento en un lote de soja.

*Delimitación de zonas homogéneas*

Para delimitar zonas de manejo es necesario que las variables a utilizar hayan sido interpoladas con la misma grilla de predicción. Es decir que, en un mismo archivo, cada punto de la grilla tendrá un dato para cada variable predicha. Cuando en la opción *Target variable* se seleccionan más de una variable, se habilita la pestaña *Multivariate* en la cual se especifican las opciones de la clasificación multivariada. Dado que el método *fuzzy k-means* usa como variables las componentes espaciales del MULTISPATI-PCA, se encuentra disponible la opción de centrar las variables con las cuales se realizará el Análisis de Componentes Espaciales. Además, debe seleccionarse el porcentaje de variabilidad que se desea explicar con las componentes que luego serán utilizadas para el procedimiento (por defecto se seleccionan aquellas componentes que expliquen el 70% de la variabilidad total). Otras opciones del método de *cluster* es la distancia la cual puede ser euclídea o manhattan, y el número de *cluster* que se desea obtener en la clasificación. El número de iteraciones, y el exponente difuso también puede ser especificado si el usuario lo desea. Para el análisis MULTISPATI-PCA, FastMapping procede automáticamente a extraer las componentes principales espaciales (sPC) para unirlas a la base de datos del análisis y utilizarlas posteriormente como *input* del análisis de *cluster fuzzy k-means*.

Delimitadas las clases de manejo, se necesita determinar cuál es el número óptimo de clases. Para ello se reportan los índices: Xie-Beni, Fukuyama-Sugeno, coeficiente de partición y entropía de clasificación. En todos los índices, excepto el coeficiente de partición, el número de clases óptimo se obtiene cuando los índices tienen el menor valor. Para hacer que la interpretación del coeficiente de partición sea igual a los otros índices, se reporta el valor inverso del índice. Luego se confecciona una tabla con los índices obtenidos. Puede suceder que ninguno de los índices coincida con otro en el número óptimo de clases. Para facilitar la toma de decisiones FastMapping reporta un índice resumen para cada clasificación. Este nuevo índice puede ser la distancia Euclídea de los valores de los índices previamente normalizados por su valor máximo a través de las diferentes clasificaciones. Para realizar mapas de las clases de manejo, primero se debe extraer los

datos de las clases delimitadas con el algoritmo *fuzzy k-means* y luego se grafican en la pestaña *Cluster Plot* (Figura 5).

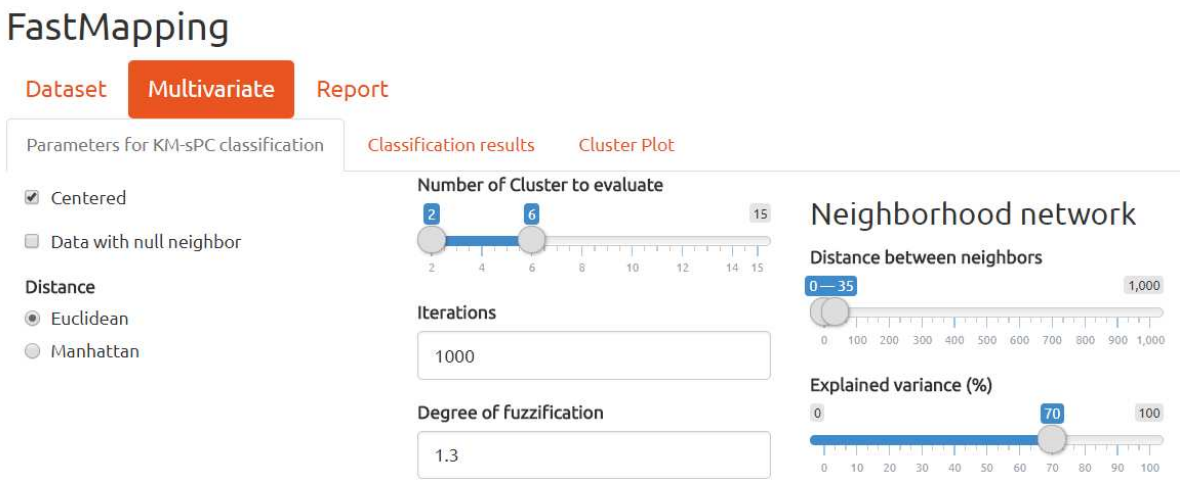



Figura 5. Opciones para delimitación de zonas homogéneas en sentido multivariado de FastMapping

*Otras características del Software*

FastMapping permite importar archivos en formato *.txt* con diferentes opciones de separación de caracteres. Los resultados pueden exportarse en una tabla con formato *CSV* en la cual se incluyen las coordenadas de los sitios interpolados, los valores predichos y la varianza de predicción. Además, los mapas de variabilidad pueden ser copiados o exportados como archivo *geotiff* Este último puede ser cargado en software para datos espaciales o software GIS. FastMapping permite a los usuarios interactuar con sus datos sin tener que manipular códigos de programación. Realiza una programación reactiva que vincula los valores de entrada con los de salida, es decir que cuando una entrada cambia, el servidor reconstruye cada salida que depende de ella.

Este software es desarrollado en el lenguaje de programación R (R Core Team 2018) siendo compatible con diferentes plataformas (e.g. Windows y Linux). Utiliza las librerías shiny (Chang et al., 2018) y shinythemes (Chang, 2018), R como interfase grafica con el usuario. La depuración espacial se realiza con funciones de la librería spdep (Bivand y Piras, 2015). Los ajustes de variogramas e interpolación espacial se obtienen a través de los procedimientos desarrollados y disponibles en las librerías automap (Hiemstra et al. 2008), fields (Nychka et al., 2017), geoR (Ribeiro Jr y Diggle 2016) y raster (Hijmans, 2017). Para realizar el análisis de *cluster KM-sPC* utiliza las librerías e1071 (Meyer et al., 2017) y ade4 (Dray y Dufour, 2004).

La aplicación web está alojada en un servidor de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Se accede ingresando a http://fastmapping.psi.unc.edu.ar/, desde cualquier navegador de internet. Solo se necesita una conexión a internet y un navegador web, no se necesita descargar ningún programa ni instalarlo. Tampoco requiere la instalación de R ni de sus librerías. La velocidad de cómputo dependerá de la memoria disponible en el servidor.

**CONCLUSIÓN**

FastMapping permite implementar secuencias lógicas de análisis (protocolos), que van desde el preprocesamiento de los datos de mapa de rendimiento y características de sitio a la validación del mapa construido para cada variable y la delimitación de zonas homogéneas intralote. Futuras líneas de investigación se orientan al uso de esta herramienta para protocolos orientados a evaluar ensayos bajo tecnologías de precisión (ensayos de fertilización y densidad de siembra a tasas variables).

**AGRADECIMIENTOS**

Este desarrollo ha sido producido por investigadores y becarios del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) con lugar de trabajo en la Catedra de Estadística y Biometría de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Las investigaciones metodológicas que sustentan el protocolo de análisis implementado en FastMapping son subsidiadas por el Proyecto PICT 2014 1071 del MinCyT de Argentina, SECyT-UNC y por el proyecto PIODO 2015 del MinCyT de la Provincia de Córdoba, Argentina.

**BIBLIOGRAFÍA**

Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association-LISA. Geographical Analysis, 27(2), 93–115.

Anselin, L. (1996). The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. In Fischer M., Scholten H., and Unwin D., (ed.), Spatial analytical perspectives on GIS, p. 111-125. Taylor and Francis, London.

Bezdek, J. (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York.

Bivand, R., & Piras, G. (2015). Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics. Journal of Statistical Software, 63(18), 1-36.

Bivand, R., Pebesma, E., & Gómez-Rubio, V. (2013). Applied Spatial Data Analysis with R. New York: Springer.

Chang, W. (2016). shinythemes: Themes for Shiny. R package version 1.1.1.

Chang, W., Cheng, J., Allaire, J. J., Xie, Y., & McPherson, J. (2018). shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.1.0.

Córdoba, M., Bruno, C., Costa, J., & Balzarini, M. (2013). Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. Comp. Electron. Agric. 97: 6-14.

Córdoba, M., Bruno, C., Costa, J., Peralta, N., & Balzarini, M. (2016). Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. Biosys. Engin.143, 95–107.

Douglas, N., FurrerR., Paige, J., & Sain., S. (2017). fields: Tools for spatial data. R package version 9.6

Draper, N. R. & Smith, H. (1988). Applied Regression Analysis. John Wiley and Sons, New York.

Dray, S., & Dufour, A. B. (2007). The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. Journal of Statistical Software, 22(4), 1–20.

Frogbrook, Z., & Oliver, M. (2007). Identifying management zones in agricultural fields using spatially: constrained classification of soil and ancillary data. Soil Use Manage. 23, 40–51.

Fukuyama, Y., & Sugeno, M. (1989). A new method of choosing the number of clusters for the fuzzy c-means method, Proc. 5th Fuzzy Syst. Symp., 247-250.

Galarza, R., Mastaglia, N., Albornoz, E. & Martínez, C. (2013). Identificación automática de zonas de manejo en lotes productivos agrícolas. V Congreso Argentino de Agroinformática (CAI) - 42da. JAIIO, Córdoba.

Hiemstra, P. H., Pebesma, E. J., Twenh"ofel, C. J. W., & Heuvelink, G. B. M. (2008). Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch Radioactivity Monitoring Network. Computers & Geosciences.

Hijmans, R. J. (2017). raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 2.6-7.

Matheron, G. (1971). The theory of regionalized variables and its applications. Les Cahiers du Centre de Morphlogie Mathematique. École national supérieure des mines.

Meyer, D., Dimitriadou, E., Hornik, K., Weingessel, A., & Leisch, F. (2017). e1071: Misc Functions of the Department of Statistics, Probability Theory Group (Formerly: E1071), TU Wien. https://cran.r-project.org/package=e1071

Moral, F., Terrón, J., & Marques da Silva, J. (2010). Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. Soil Till. Res. 106, 335–343.

Odeh, I., Chittleborough, D., & McBratney, A. (1992). Soil Pattern Recognition with Fuzzy-c-means: Application to Classification and SoilLandform Interrelationships. Soil Sci. Soc. Am. J. 56, 505.

Pebesma, E. J. (2004). Multivariable geostatistics in S: the gstat package. Computers & Geosciences, 30, 683–691.

Ribeiro Jr, P. J., & Diggle, P. J. (2016). geoR: Analysis of Geostatistical Data. R package version 1.7-5.2.

Stafford, J. V., Lark, R. M., & Bolam, H. C. (1998). Using yield maps to regionalize fields into potential management units. In P. C. Robert (Ed.), Precision Agriculture. 4th Proc. Int. Conf., St. Paul, MN, 19–22 July 1998. (pp. 225–237). Madison, WI: ASA, CSSA and SSSA.

Sun, W., Whelan, B., McBratney, A. B., & Minasny, B. (2013). An integrated framework for software to provide yield data cleaning and estimation of an opportunity index for site-specific crop management. Precision Agriculture, 14(4), 376–391.

Taylor, J. A., McBratney, A. B., & Whelan, B. M. (2007). Establishing Management Classes for Broadacre Agricultural Production. Agronomy Journal, 99(5), 1366–1376.

Vega, A., Córdoba, M., & Balzarini, M. (2016). Using the local Moran index to remove errors from crop yield maps. In XXVIIIth International Biometric Conference. Victoria: International Biometric Society.

Webster, R., & Oliver, M. A. (2007). Geostatistics for Environmental Scientists. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.

Windham, M. (1981). Cluster validity for fuzzy clustering algorithms. Fuzzy Sets Syst. 5, 177–185.

Xie, L., & Beni, G. (1991). Validity measure for fuzzy clustering. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 3(8), 841–847.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

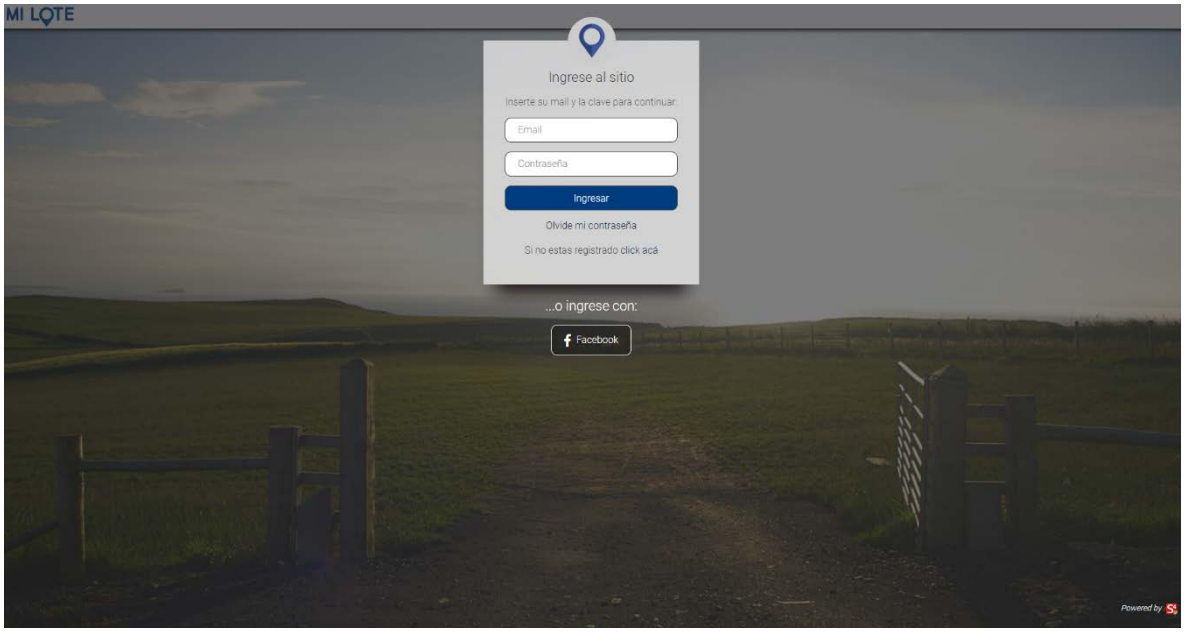
Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

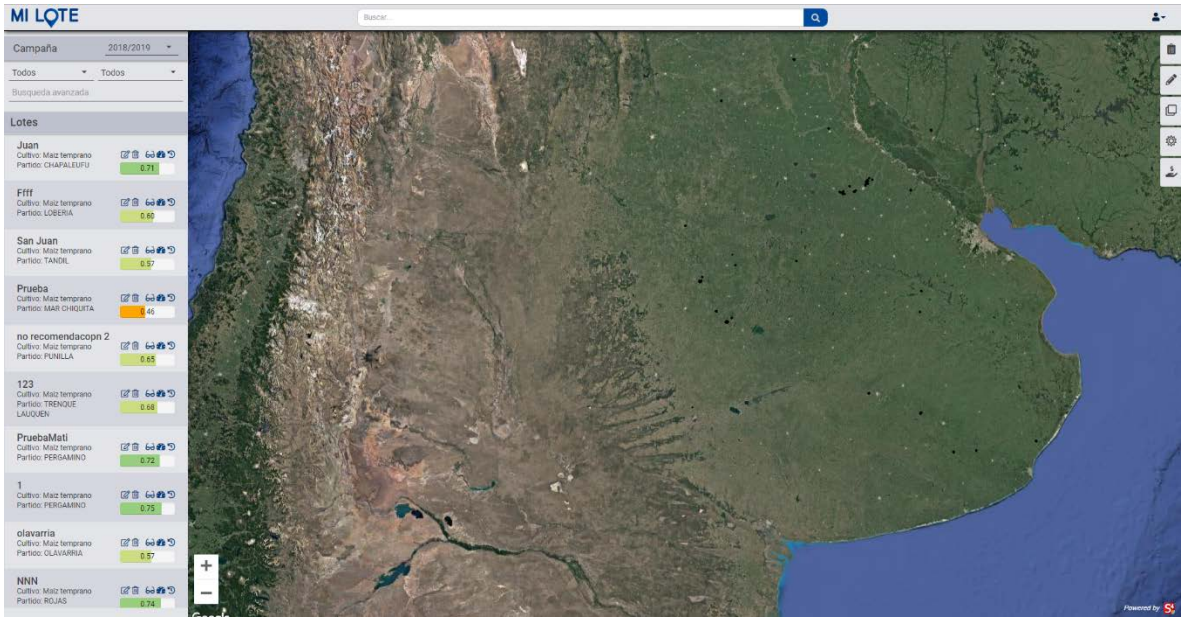
www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# MI LOTE - TU PRIMER SOCIO DIGITAL

**Matías Cerri**
www.milote.com.ar

Milote.com.ar es una aplicación web totalmente gratuita que ya lleva 3 años en el mercado. Se trata de una herramienta de agricultura digital que ayuda al usuario a insertarse dentro de la agricultura de precisión de una manera fácil. Es una aplicación que pertenece a Corteva Agriscience (la división agrícola de DowDupont) y actualmente se lanzó la versión 3.0 (Agosto 2018).




Las principales funciones que tiene son:

- **Recomendación sitio especifica ajustada de híbrido y densidad** de materiales Brevant (Ex Dow Semillas) para cada lote a partir del índice verde histórico promedio del cultivo de maíz. Además de la planificación económica de la campaña en curso.

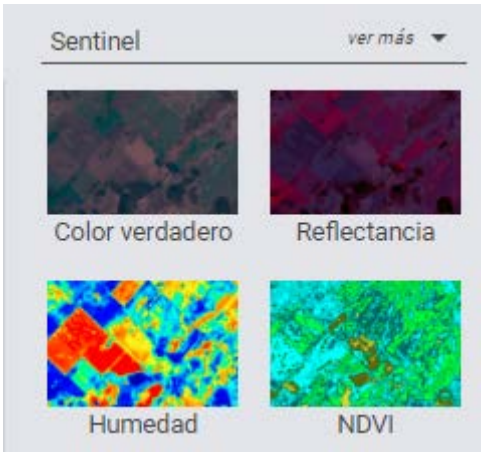
Esta planificación se puede modificar cada vez que uno quiera, y además el usuario la puede descargar en formato PDF.

- **Productividad histórica** de cada lote para maíz temprano, maíz tardío, soja de 1ra y soja de 2da. Además la historia de índice verde desde el año 2000 a la actualidad.

- **Seguimiento de la evolución del índice verde** cada 8 días, donde nos permite compararnos con nuestra propia historia y la de mis vecinos. Además nos permite también como está siendo la acumulación de índice verde actual de mis vecinos.

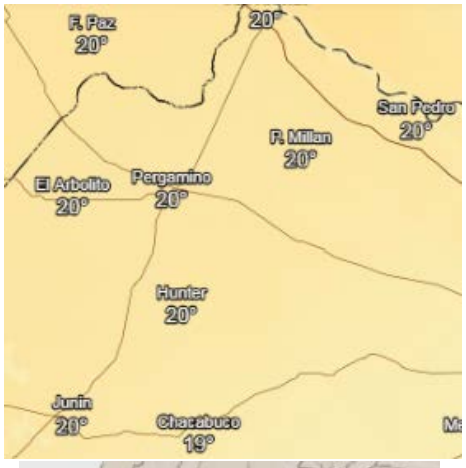
- **Estimación de rinde**. Una vez que el cultivo superó el período crítico se activa el estimador de rinde, el cual utiliza los valores de índice verde obtenidos durante este periodo para, con la ayuda de un algoritmo matemático, calcular el rinde final del lote.

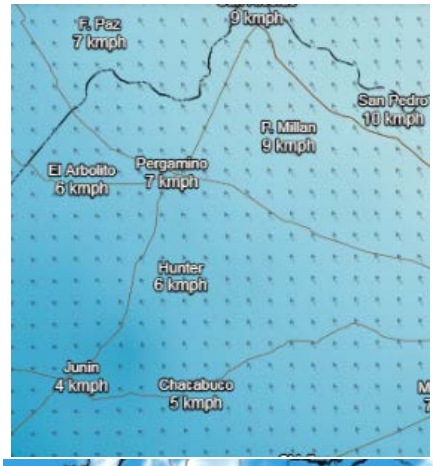
- **Imágenes Sentinel** con información de Reflectancia, True Color, índices de humedad y NDVI para seleccionar mediante un gestor de fechas.

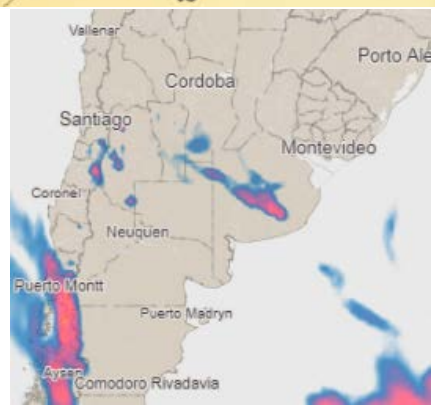


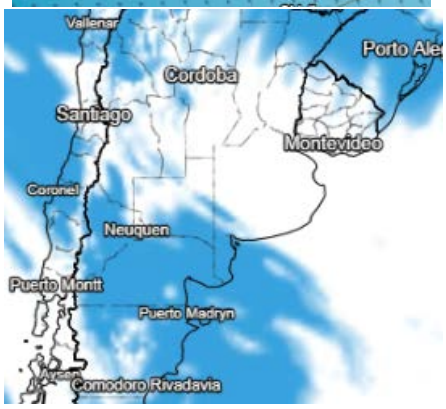

- **Capa satelital de agua en superficie/inundaciones**. En base a 4 imágenes mensuales se construye un índice que nos permite ver que pixeles de cada imagen tuvieron agua en superficie (anegamientos). Esta capa se actualiza mes a mes.

- Capa con **información climática**. Mediante una API de DarkSky (proveedor de datos climáticos) se disponibilizan todos los datos de todo el territorio con pronósticos de hasta 13 días a futuro.




- Capa con **información de suelos**
- **Alertas automáticas** de valores de índice verde
- **Alertas automáticas** para adversidades fitosanitarias (Plagas, malezas y enfermedades)

Para poder acceder a todas estas funciones solo es necesario registrarse de manera gratuita en la web (www.milote.com.ar) y luego proceder a dibujar los lotes con su correspondiente información (Nombre del lote, campo, fecha de siembra, cultivo, híbrido elegido, tipo de año (húmedo-neutro-seco). En unos días se habilita la posibilidad de subir archivos KML para que el método de carga/dibujo de cada lote sea más fácil.

MiLote es una herramienta que luego de 3 años superó 1 millón de hectáreas dibujadas y su perspectiva de hectáreas sigue creciendo. Además de ser gratuita, aporta mucha información a la hora de hacer un seguimiento de cada cultivo, y lo mas importante es que es simple y fácil de usar.

Se puede decir que es una puerta de entrada a la agricultura digital, y que ayuda a cada productor a conocer este tipo de herramientas que hoy son masivas en el mercado, pero que muchas veces no son gratuitas.

INTA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

# 17° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión

## + Expo de Máquinas Precisas

Ministerio de Agricultura y Ganadería | Ministerio de Ciencia y Tecnología | Ministerio de Industria, Comercio y Minería | Gobierno de la Provincia de Córdoba | Entre Todos

YARA

atfarm
FERTILIZACIÓN PRECISA HECHA SIMPLE

INTA Secretaría de Agroindustria | Ministerio de Producción y Trabajo Presidencia de la Nación

www.inta.gob.ar/manfredi | www.agriculturadeprecision.org | INTA Agroindustria

# CALIDAD DE CONTROL DE MALEZAS CON PULVERIZACIÓN DIRIGIDA

Ing. Agr. (MBA) Ignacio Lo Celso*
*Gerente de Producción. Est. San Juan (Va. de Totoral). San Juan de Totoral S.A. Córdoba. Argentina.
ilocelso@sanjuandetotoral.com.ar

## INTRODUCCIÓN

El progresivo incremento de la incidencia y severidad de malezas resistentes y tolerantes a distintos principios activos en nuestros lotes viene provocando, cada año, un permanente aumento de los costos para mantener dicho problema en niveles inferiores al daño económico (Papa & Tuesca, 2013). Por otro lado, existe una mayor demanda de la sociedad en general por un uso responsable de fitosanitarios lo que ha generado, como consecuencia, cada vez más conciencia ambiental de empresarios y técnicos. Ambas premisas, parecen encontrar en la Pulverización Dirigida una herramienta que permite contribuir a satisfacer estas necesidades: disminuir los costos en herbicidas y disminuir el uso de los mismos (Vélez, Scaramuzza, Méndez, & Villarroel, 2014). Esto se logra con un uso eficiente de los principios activos en aquellos sitios específicos donde los equipos han detectado, a través de sensores remotos, la presencia de malezas. Estas mismas, reportan su presencia por reflectancia de emisiones de luz, que estos sensores interpretan como verde o clorofila, según sea la tecnología elegida en la herramienta. A partir de allí, y relacionando estas señales con la velocidad de avance del pulverizador, emiten una señal para que abra y cierre la pulverización, de un determinado pico, y por un determinado tiempo (Geosistemas SRL, 2018).

Las herramientas que están actualmente disponibles en el mercado para Pulverización Dirigida, están diseñadas con una determinada lógica. Es de vital importancia conocer esa lógica para el adecuado y mejor aprovechamiento de las mismas. Nuestra intención es compartir la experiencia adquirida con el uso de una de ellas (WEEDit), a lo largo de dos campañas agrícolas, en torno a la temática de calidad de control de malezas con un equipo de 19 mts de ancho de botalón, montado sobre un pulverizador autopropulsado. Este trabajo no pretende abarcar todo lo que se podría abordar sobre esta temática, sino que más bien procura proveer algunos lineamientos generales para su aplicación: resta mucho por hacer y conocer por parte de instituciones de investigación y extensión, empresas proveedoras y técnicos de campo.

## CALIDAD DE CONTROL DE MALEZAS

Si nos remitimos al concepto clásico de calidad, dice: "*conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite caracterizarla y valorarla con respecto a las restantes de su especie".* Al referirnos concretamente a la calidad de control de malezas obtenida con Pulverización Dirigida, podríamos considerar que las dos propiedades inherentes más importantes a evaluar son: eficacia y eficiencia.

*Eficacia*

Por eficacia, entendemos que es la "c*apacidad para producir el efecto deseado".* ¿Qué cosas podrían afectar a la "eficacia" de este tipo de pulverizaciones?. A nuestro entender, hay cuatro cuestiones que hay que tener en cuenta para "producir el efecto deseado": velocidad de avance, velocidad del viento, mojado de malezas y tamaño de malezas.

Respecto a la **velocidad de avance**, trabajando a velocidades normales de aplicaciones convencionales (20-22 km/h), o en cobertura total, teníamos problemas de "fallos" en los lotes. La razón de esos fallos es la siguiente: entre el conjunto emisor-sensor y la pastilla que efectivamente pulveriza, hay 60 cm de distancia en el plano lateral (figura 1). Cualquier accidente topográfico produce movimientos en el plano horizontal y/o vertical del botalón. Incluso, la inercia del mismo, al acelerar o frenar el avance, afecta a su estabilidad. Los equipos de pulverización dirigida están diseñados para aplicar en el lugar exacto donde el sensor remoto "vio que estaba la maleza". Luego de la lectura del sensor, todo aquello que modifique la posición relativa del barral respecto del cuerpo emisor-sensor, en el plano horizontal, y que no pueda ser absorbido por el

pulverizador, desplazará del objetivo de blanco la pulverización, provocando el "fallo". Cuando el movimiento es en el plano vertical, si el barral se alejó de los 60 cm indicados (respecto del suelo), provocará subdosis de herbicida; en el caso contrario, donde el botalón se acercó a menos de 60 cm, respecto del suelo, puede provocar fallo si la maleza se ubicara a los costados del perfil de aplicación de la pastilla (figura2).

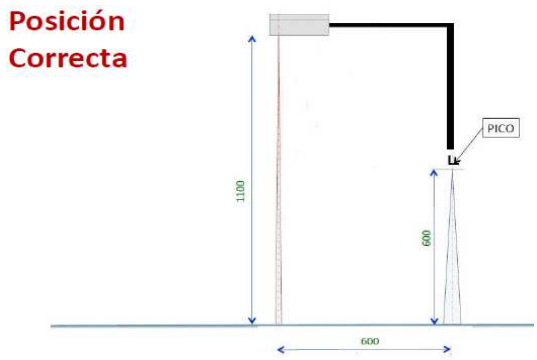



Figura 1. Posiciones y distancias (en mm) correctas del cuerpo emisor-sensor y del barral pulverizador (vista lateral) (Geosistemas SRL, 2017).

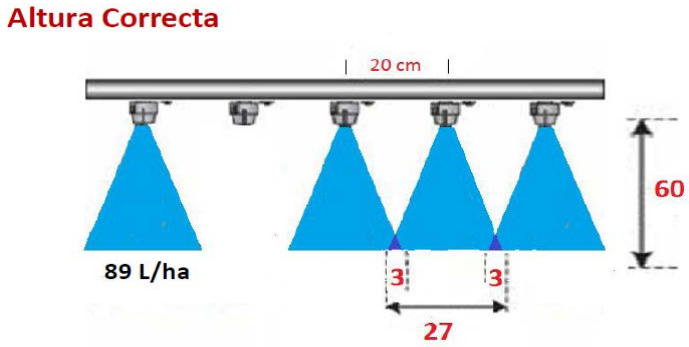



Figura 2. Posiciones, distancias y superposiciones (en cm) correctas de las pastillas en el botalón pulverizador (vista frontal) (Geosistemas SRL, 2017).

Para evitar esos fallos, necesitábamos conocer que sucedía con la efectividad del equipo a dos velocidades de trabajo: 20 km/h y 15 km/h. Para la medición, usamos tarjetas hidrosensibles que fueron colocadas sobre malezas a lo largo de todo el ancho del botalón. Se realizaron pasadas a ambas velocidades y con distintos tipos de configuración del equipo. Luego de cada pasada, sólo se consideraron aquellas tarjetas que estuvieran correctamente pintadas para evaluar la efectividad del equipo. El resultado que arrojó fue que todas las pasadas realizadas a 15 km/h tuvieron una efectividad mayor a las realizadas a 20 km/h, independientemente del tipo de configuración elegida (tabla 1 y gráfico 1).

Tabla 1. Tarjeteo con distintas configuraciones y a dos velocidades (fuente: elaboración propia)

| | **Velocidad (km/h)** | **Efectividad (%)** |
|---|---|---|
| **Tarjeteo 1** | 15 | 93.8 |
| **Tarjeteo 2** | 15 | 93.3 |
| **Tarjeteo 3** | 15 | 91.7 |
| **Tarjeteo 4** | 20 | 78.6 |
| **Tarjeteo 5** | 20 | 66.7 |
| **Tarjeteo 6** | 20 | 66.7 |
| **Tarjeteo 7** | 20 | 53.3 |

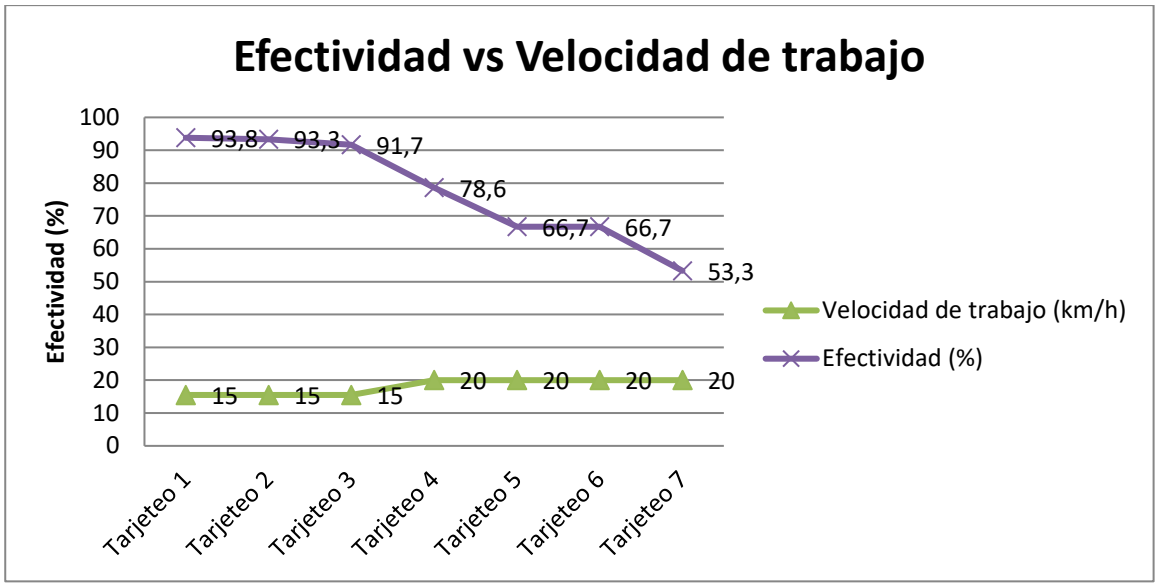



Gráfico 1. Relación entre efectividad y velocidad de aplicación (fuente: elaboración propia)

Esto no quiere decir que el equipo no pueda usarse a mayores velocidades, ni que esta sea la velocidad adecuada para su uso (porque en terrenos muy accidentados o irregulares, incluso puede ser excesiva), sino que la misma debe adecuarse al tipo de terreno a pulverizar y a la capacidad que tenga, para absorber los movimientos, el sistema de basculantes del equipo sobre el que está montado la Pulverización Dirigida. A similares conclusiones, han arribado otros usuarios de esta tecnología (Galdeano, 2014) (Grupo CREA Guayacán, 2018).

Por otro lado, el equipo presenta una alternativa para salvar parcialmente este problema: se llama **"Margen de Aplicación"** y es una de las herramientas previstas, en la configuración del equipo, que permite modificar el "píxel" de aplicación: tiene 4 grados, donde 1 significa que la computadora envía señal para que el equipo empiece a pulverizar 5 cm, antes de pasar por encima de la maleza, y termine de pulverizar 5 cm después. El grado 4, prevé comenzar 20 cm antes y culminar 20 cm después. Estos grados, a su vez, pueden ser modificados según la preferencia y/o necesidad del usuario. Esta herramienta, representa un "seguro" para la aplicación, pero va en detrimento de la eficiencia (Geosistemas SRL, 2017), por lo que se hace necesario medir con que mínimo "margen de aplicación" obtenemos los mejores resultados.

Como sabemos, la **velocidad de viento** excesiva influye negativamente en la eficacia de las pulverizaciones en general. Nuestra intención era medir como afectaba eso mismo, en este sistema. Para ello, siguiendo con el mismo criterio de evaluación utilizado para medir el efecto de la velocidad de avance, se realizaron tarjeteos en una situación desaconsejable para pulverizaciones convencionales: la aplicación fue realizada en sentido este a oeste, con un viento norte de 23 km/h, con ráfagas de hasta 46 km/h. El resultado que arrojó fue que, aún a esas velocidades de viento, el equipo conserva su eficacia (Tabla 2).

Tabla 2. Efectividad de la Pulverización Dirigida, con distintas configuraciones, a velocidades de viento de 23 km/h, con rachas de 46 km/h (fuente: elaboración propia).

| | **Velocidad km/h)** | **Efectividad (%)** |
|---|---|---|
| **Tarjeteo 1** | 15.5 | 100 |
| **Tarjeteo 2** | 15.5 | 100 |
| **Tarjeteo 3** | 15.5 | 83.3 |

El resultado es lógico si se tiene en cuenta como está diseñado el equipo: se utilizan pastillas de tipo abanico plano, con ángulo reducido (30º) y de altos volúmenes (0.3 galones/min, a 3 bares). Este tipo de boquilla,

genera gotas grandes, de más de 400 micras de DVM, (Grupo CREA Guayacán, 2018)) y que, sumado a la baja distancia al suelo desde la que se pulveriza (60 cm, figura 1), da como resultado una baja susceptibilidad a la deriva por viento (figura 3), garantizando que el caldo asperjado termine donde se lo quería ubicar.

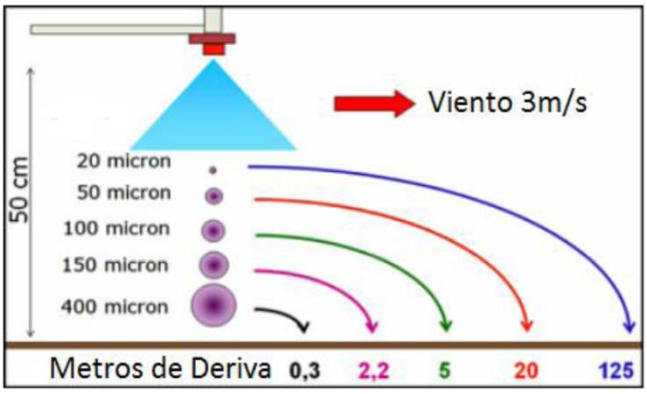



Figura 3. Metros de deriva, según tamaño de gota (Geosistemas SRL, 2017) (adaptado de GRDC – Australia)

Esto no quiere decir que sea recomendable aplicar en estas condiciones, pero sí que el equipo está diseñado para generar baja deriva, aún en condiciones extremas para aplicaciones convencionales y con otros tipos de pastillas. Por otro lado, si la máquina está cargada y se levantó viento (dentro de los criterios de las reglamentaciones provinciales) podríamos tener más posibilidades de terminar "la tancada", sabiendo que el equipo mantiene una adecuada performance en esas condiciones. De esa manera, nos evitamos suspender una aplicación, con el riesgo que conlleva esa decisión en el tiempo, respecto al precipitado de productos (con la consecuente dificultad posterior para una correcta limpieza del equipo), degradación de principios activos, etc.

El tipo de pastilla usado en el equipo, nos lleva necesariamente a tratar el tema de **mojado de malezas**. Como señaláramos con anterioridad, este tipo de boquillas, en términos generales, producen gotas grandes y una gran cantidad de impactos. Sin embargo, como el equipo tiene la posibilidad de modificar el caudal a aplicar por hectárea, mientras más cerca esté la configuración seleccionada del volumen previsto por tabla para esa pastilla, a una determinada velocidad, y con una determinada presión, más homogénea y de menor diámetro será la gota y mayor la cantidad de impactos que obtendremos (figura 4). Por ejemplo, para una aplicación realizada a 15 km/h, con pastillas 3003, a 3 bares de presión, y aplicando en el 100% de la superficie, utilizaríamos un caudal de 150 lts/ha.

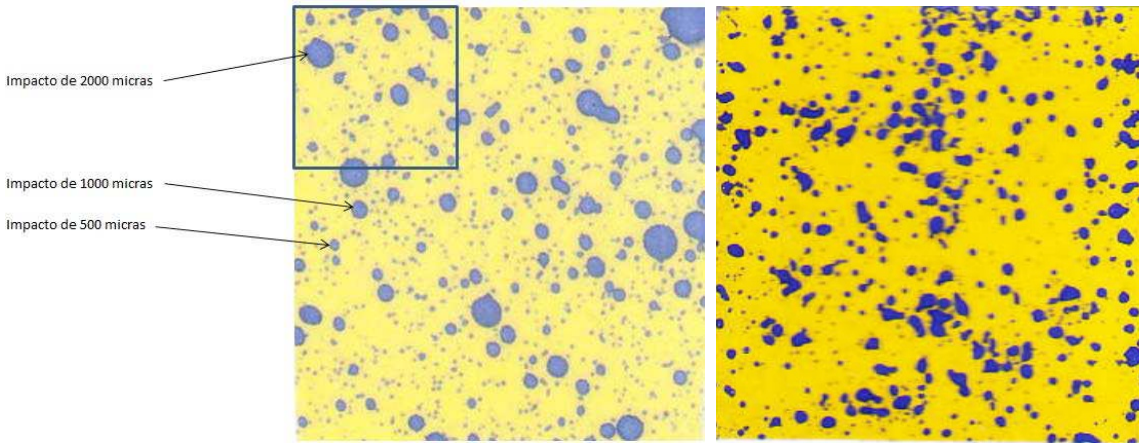



Figura 4. Tarjetas hidrosensibles obtenidas con 90 y 150 lts/ha, respectivamente, con una aplicación hecha a 15 km/h.

De cualquier manera, en ambos casos, son suficientes para el control de malezas con herbicidas sistémicos y de contacto, según la recomendación de FAO y de los marbetes de numerosos productos (20-40 impactos/$cm^2$).

El último aspecto a considerar en la eficacia de estos equipos es el **tamaño de maleza**. En el caso de dicotiledóneas, este equipo detecta aquellas con más de 5 $cm^2$ o una moneda de 25 ctvs (figura 5). En el caso de monocotiledóneas, cuando tienen más de 3 hojas.

Figura 5. Tarjeta de 6.25 cm2 "pintada", al lado de *Gamochaeta sp.*

*Eficiencia*

Por eficiencia, entendemos como la "c*apacidad de lograr ese efecto en cuestión con el mínimo de recursos posibles o en el menor tiempo posible".* En esta propiedad, los números hablan por sí solos: como resumen de dos campañas agrícolas, hemos logrado reducir el costo de herbicidas en 13.5 U$S/ha, con un porcentaje de ahorro promedio del 70% en la superficie realizada con Pulverización Dirigida (tabla 3), comparando lo gastado efectivamente con Pulverización Dirigida (segunda columna) vs lo que hubiéramos gastado en pulverización convencional o en cobertura total (tercera columna). Cabe aclarar que en el escenario actual de la problemática de malezas, hay una parte importante de los costos que obedece al uso de residuales o premergentes que, entendemos, no serían sustituibles por esta tecnología.

Tabla 3. Ahorro en U$S y herbicidas no pulverizados, a lo largo de dos campañas.

| Campaña | Costo herb con WEEDit (U$S) (real) | Costo en Cob Tot (U$S) (teórico) | Sup Tot (has) | Ahorro (%) | Ahorro (U$S) | Ahorro (U$S/ha aplic) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 16/17 | 29,360.00 | 84,102.00 | 4684 | 65.09% | 54,742.00 | 11.69 |
| 17/18 | 28,937.38 | 111,406.97 | 5486 | 74.03% | 82,469.59 | 15.03 |
| ***Total*** | ***58,297.38*** | ***195,508.97*** | ***10170*** | ***70.18%*** | ***137,211.59*** | ***13.49*** |

Para graficar este aspecto, apuntamos algunos casos:

*Borreria* spp ("botoncito blanco"): es una maleza de difícil y costoso control. En tratamientos de mezclas de herbicidas sistémicos y quemantes, más aditivos, con resultados satisfactorios (rebrotes posteriores a los 40 días de realizado el tratamiento), el costo ronda alrededor de 44 U$S/ha, si se aplicara en la totalidad de la superficie del lote. En lotes con esta problemática, obtuvimos ahorros alrededor de 68%, por lo que el costo real del tratamiento fue de 14 U$S/ha.

*Echinochloa colona* RR ("pasto colorado"): al costo de controlar esta maleza en barbechos de presiembra de maíz, hay que agregarle el riesgo de provocar fitotoxicidad en el cultivo (Ustarroz, Montoya, Ledda, Belluccini, & Cervellini, 2017). Si bien es una práctica riesgosa, está ampliamente difundida. Un equipo de Pulverización Dirigida, sólo aplicaría donde detecte la presencia de malezas, por lo que podríamos asumir que buena parte de los asperjado va a ir al tejido verde de las mismas y no al suelo. Esto nos permitiría deducir que el riesgo

a producir fitotoxicidad en el cultivo es aún menor que el porcentaje real del lote aplicado. En nuestro caso puntual, sólo el 32% del lote fue aplicado con graminicida.

*Amaranthus* spp RR ("yuyo colorado", "ataco"): es una maleza de rápida y alarmante difusión en nuestro país. Un típico tratamiento de "puesta a cero" del lote antes de sembrar, podría consistir en el uso de hormonales en mezcla con quemantes más coadyuvantes, para controlar plantas en estadío vegetativo y con alturas menores a los 15 cm. De igual manera que en el caso de los graminicidas para el maíz, esta práctica tampoco es inocua para la soja, y otros cultivos de hoja ancha, si el tratamiento se realizara en la presiembra.

El uso de esta tecnología, además del beneficio económico directo por el ahorro en herbicidas, disminuye el riesgo de provocar fitotoxicidad en el cultivo al aplicar sólo sobre el sensado de malezas. En situaciones como estas, con un costo promedio de tratamiento de 23 U$S/ha, hemos tenido lotes con ahorros de hasta 82%, por lo que el costo real del tratamiento fue de alrededor de 4.1 U$S/ha.

Por último, para resumir, nos gustaría apuntar algunas observaciones que creemos pueden ser de utilidad para el mejor aprovechamiento de estas tecnologías:

- Se trabaja con altos volúmenes (más de 100 lts/ha, según las pastillas), lo que permite que no se corten algunas mezclas complicadas a bajos volúmenes (si el agua es buena o está corregida).
- Es menos susceptible a la deriva por velocidad del viento que las pulverizaciones convencionales (dentro de determinados rangos).
- Es una tecnología exigente en el mantenimiento correcto del equipo: si los sensores están sucios y no "leen", falla la aplicación; si los émbolos, que abren y cierran la pulverización, están desgastados, falla la aplicación; si una pastilla está trancada, falla la aplicación, etc. A diferencia de la pulverización convencional, donde se solapan los caldos asperjados por las boquillas, lo que una de ellas no hizo (o hizo de modo inadecuado), no es salvado por las de los costados.
- Excelente desempeño en plantas de porte rastrero (*Borreria sp*, *Commelina sp*, cucurbitáceas y, en general, para todas las malezas en estadíos iniciales). Si la aplicación fuera exclusivamente con "desecantes" o "quemantes", evitar que las malezas de porte erecto superen los 15 cm de altura (p. ej., "Rama negra" elongada, "Yuyo colorado" grandes), porque puede verse resentida la eficacia de la aplicación.
- Ajustar la velocidad de avance a las condiciones del terreno y a la capacidad que tenga, el equipo pulverizador, de absorber esas irregularidades.
- Apuntamos a manejar nuevos problemas como *Amaranthus sp* RR y *Echinochloa colona* RR –y en gral, todas las especies anuales tolerantes o RR- **con residuales incorporados** en cobertura total y los escapes, con sistémicos y/o quemantes, en Pulverización Dirigida. De este modo, tratamos de evitar que los costos se disparen.
- Procuramos ingresar a aplicar los lotes con malezas en estadíos iniciales, especialmente en los casos de difícil control posterior (por ejemplo, "Rama negra" con tallo elongado o "Yuyo colorado" con más de 15 cm).
- La Pulverización Dirigida, al aplicar sólo sobre tejido vivo o verde, nos permitiría trabajar con herbicidas más selectivos, pero más agresivos para los cultivos posteriores a su aplicación, manteniendo un bajo nivel de riesgo de provocar fitotoxicidad (por ejemplo, Imazapyr para el control de matas de "sorgo de Alepo RR" en barbecho).

## BIBLIOGRAFÍA


Galdeano, M. J. (2014). *Taller de Pulverización Selectiva.* Grupo Los Gatos.

Geosistemas SRL. (2017). WEEDit - Estrategias de uso y aplicación. *Capacitación para técnicos y operarios*, (pág. 7 y 10). Sinsacate - Córdoba.

Geosistemas SRL. (2018). *geosistemassrl.* Recuperado el 06 de Septiembre de 2018, de http://www.geosistemassrl.com.ar/index.php/quienes-somos/agricultura/weedit-detail

Grupo CREA Guayacán. (2018). *WEEDit - Calibraciones.*

Papa, J. C., & Tuesca, D. (2013). *Los problemas actuales de malezas en la región sojera núcleo de Argentina: origen y alternativas de manejo.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Ustarroz, D., Montoya, J., Ledda, A., Belluccini, P. A., & Cervellini, J. M. (2017). Actividad de cletodim y haloxifop R-metil en suelo y su efecto fitotóxico en el cultivo de maíz (Zea mays). *Agriscientia*, 83-89.

Vélez, J. P., Scaramuzza, F., Méndez, A., & Villarroel, D. (2014). Pulverización selectiva. Ahorro de insumos e incremento en el rendimiento. *Curso internacional de agricultura de precisión*.

# APLICACIONES SELECTIVAS, Y CADA VEZ MÁS INTELIGENTES

**Esteban Bilbao**
Miller control Eco Spiner
esteban.bilbao@milar.farm

## HISTORIA DE LA AGRICULTURA Y LOS FITOSANITARIOS

La agricultura comenzó hace aproximadamente 12.000 años. El arado, que se inventó hace unos 5.000 años, fue un gran paso en la agricultura ya que facilitó el control de malezas y la preparación de la cama de siembra y permitió la expansión del área cultivada. En 1970 Se comenzó con las primeras experiencias en siembra directa, dejando de lado el arado, y pasando a controlar las malezas exclusivamente mediante el uso de herbicidas y competencia de los cultivos. Se estima que el sistema de siembra directa o agricultura de conservación se realiza en más de noventa millones de hectáreas a nivel mundial. Hoy se cultivan alrededor de mil quinientos millones de hectáreas, lo que representa un doce por ciento de la tierra libre de hielo del planeta y el setenta y ocho por ciento del umbral de seguridad (Rockstrom et al., 2009). El uso de fitosanitarios se multiplicó muchas veces desde 1960 hasta hoy (Rosegrant et al., 2014). Estos productos son muy efectivos en aumentar los rendimientos ya que a nivel global reducen en algo más de cincuenta por ciento las pérdidas potenciales en los cultivos causadas por adversidades bióticas. Pero es urgente reducir el uso de los fitosanitarios ya que es un aspecto central para alcanzar producciones menos contaminantes

Desde 1975 a la fecha han ido aumentando de forma exponencial la aparición de malezas resistentes a diferentes modos de acción de herbicidas, llegando a detectarse casi cuatrocientas resistencias diferentes a nivel mundial (Dr. IAN Heap, WeedScience.org, 2018). Información recabada y analizada por la Red de Malezas Resistentes de Argentina (Rem) indican que se han identificado treinta y tres biotipos de dieciocho especies resistentes a diferentes modos de acción, con resistencias a cuatro modos de acción, y nueve resistencias múltiples. Esta situación ha llevado a que, en Argentina, en distintas situaciones el costo del control químico de malezas haya pasado de unos 49 u$s/ha promedio en el año 2011 a 71 u$s/ha en 2017, y casos graves en los cuales se ha llegado a 150 u$s/ha, debido a un mayor uso y variedad de herbicidas, lo cual además de aumentar los costos, y llegar a situaciones en las cuales hay lotes que quedan excluidos de la producción, genera un mayor impacto ambiental de la producción agrícola.

Tabla 1: Costo de control químico (herbicidas en u$s/ha) del año 2011 al 2017 en los principales cultivos del sudeste bonaerense (cebada, trigo, girasol, soja, maíz, soja de segunda) y su aumento real (u$s/ha) y relativo (fuente Agroestudio Viento Sur SRL).

| | Costo Herbicidas U$S/ha | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Año/cultivo** | **Ceb/Tr** | **Girasol** | **Soja** | **Maíz** | **Soja 2°** |
| 2011/12 | 33 | 48 | 44 | 50 | 20 |
| 2012/13 | 41 | 54 | 59 | 59 | 27 |
| 2013/14 | 33 | 57 | 63 | 37 | 21 |
| 2014/15 | 32 | 64 | 68 | 51 | 23 |
| 2016/17 | 40 | 70 | 70 | 51 | 23 |
| 2017/18 | 50 | 75 | 75 | 60 | 25 |
| Aum. U$S/ha 16/17 vs 11/12 | **17** | **27** | **31** | **10** | **5** |
| Aum. % 16/17 vs 11/12 | 52 | 56 | 70 | 20 | 25 |

Observando esta historia reciente y el incremento continuo en la dificultad de controlar las malezas en los distintos sistemas productivos (desde la labranza convencional hasta la siembra directa) es que con Milar

Agro Tech SRL comenzamos a trabajar en "Eco Sniper", un tecnología de aplicaciones selectivas diferentes a las disponibles en el mercado, las cuales trabajan con sensores de luz roja e infra-roja. Este sistema de detección de malezas utiliza cámaras que van leyendo verde en tiempo real y permite aplicar herbicidas solamente donde están las malezas, y no en el resto del lote. Esto permite mejorar el control de malezas y disminuir de manera contundente el uso de herbicidas, mejorando ecológicamente el sistema, permitiendo utilizar herbicidas que por sus costos no se pueden utilizar en cobertura total, aumentando la vida útil de los herbicidas en el mercado y ayudando a poder seguir produciendo con sistemas que preserven nuestros suelos. En ensayos propios, realizados en el sudeste de Buenos Aires y Córdoba, y de terceros en distintas zonas productivas de Argentina, se han obtenido un promedio de 60% de ahorro, y un rango con un mínimo de 20% y un máximo de 85% en el uso de herbicidas en barbechos, esto se vuelve cada vez más relevante al aumentar el costo de cada control por el avance de las malezas resistentes.

Por la tecnología con la que trabaja esta herramienta también permitirá recabar gran cantidad de información de los lotes, lo cual es de gran importancia en el manejo de malezas como de la nutrición de cultivos, y otros factores. Eco Sniper tiene una segunda etapa en desarrollo en la cual, mediante el uso de inteligencia artificial, podrá diferenciar malezas de cultivo y más adelante malezas de malezas, con potencialidad para manejar de forma diferenciada insectos, enfermedades y fertilización.

**VENTAJAS DE LAS APLICACIONES SELECTIVAS:**

- Disminuyen el impacto ambiental en la producción de alimentos, a raíz de un menor, y más eficiente uso de los herbicidas
- Permite un menor uso de herbicidas, lo que reduce los costos del control de malezas, y mejora la rentabilidad del productor
- Extienden la vida útil de las moléculas químicas, al utilizarse solamente sobre las malezas target
- Permiten la utilización de otras herramientas, como herbicidas muy caros que no pueden utilizarse en cobertura total, otros medios químicos y/o físicos como laser, fuego, mecánico
- Sinergizan con otras herramientas de manejo integrado de malezas
- Logran un menor uso y traslado de envases de herbicidas
- Hacen más eficiente el tiempo de trabajo de pulverización por permitir más superficie trabajada por carga

En el manejo de malezas debemos entender que estamos todos los días corriendo una carrera contra la evolución de las mismas, por lo cual precisamos utilizar todas las herramientas y procesos disponibles para que la presión de selección que ejerzamos sea menor a nuestros tiempos de "rotación" de herramientas.

En este contexto debemos utilizar el control químico dentro de un manejo integral e inteligente de las malezas que incluya:

-Rotación de Cultivos: de Cosecha y de Cobertura

-Prácticas culturales: fecha y densidad de siembra, distancia entre hileras, fertilizaciones, etc.

-Limpieza de maquinarias agrícolas, camiones, camionetas antes de ingresar al campo o lote.

-Laboreo (es una herramienta más, todas tiene sus debilidades, desde el pie de pato, arado de disco, hasta el arado de rejas)

-Controlar manual (arrancar plantas).

-Control mecánico

-Control químico: rotando modos de acción (2 o más por maleza al año), utilizando aplicaciones selectivas, manchoneo , mochila, CALIDAD DE APLICACIÓN.

-Genética con Tolerancia a herbicidas (2,4D, dicamba, PPO, glufosinato de amonio, etc.)

-Destructores de semillas acoplados a la cosechadora

-Herramientas del futuro cercano? ARNm/edición génica

No podemos dejar de mencionar la necesidad de realizar un MONITOREO profesional, cuantificando y geo-localizando la información. Tener un buen DIAGNÓSTICO es la base del uso de las demás herramientas.

Hemos llegado a la situación actual (tanto en Argentina como en otros países) por la utilización repetitiva de una herramienta, que en general brindaba un alto porcentaje de control de las malezas problema, pero debemos pasar de esta actitud defensiva a una actitud CREATIVA. En este contexto entra Eco Sniper (Figura 1) a jugar un rol preponderante en el uso efectivo y eficiente de químicos, siendo las aplicaciones selectivas la herramienta que puede tener en el corto plazo el mayor impacto en la disminución de uso de herbicidas.

Figura 1. Eco Sniper en acción en un equipo para ensayos, y como estaría visualizando las malezas el software.

# MAPEO DE SUELOS DE ALTA DEFINICIÓN

**Muguerza, Julian; Bonetto, Emmanuel; Storti, Sebastian**
Glimax SRL – SoilOptix – Aceitera General Deheza SA

## INTRODUCCIÓN

La determinación de la variabilidad espacial de los suelos es el pilar de fundamental para la toma de decisión agronómica predictiva. El conocimiento de los suelos en términos de su estado nutricional, de degradación y su calidad nos ayudan a definir en forma predictiva las acciones y estrategias fundamentales para cualquier actividad agrícola, pecuaria, forestal, frutal, hortícola, etc.

El uso de información de los suelos es una practica común y de larga data, desde el mapa de suelos de la republica argentina, las cartas de suelo y los actuales mapeos de electroconductividad o electromagnetismo (sensores proximales) mas los muestreos de suelo son ejemplos de este uso, las diferencias entre estas herramientas tienen que ver con su escala de aplicación, costo y facilidad de uso. La recolección de información sobre las propiedades del suelo a una escala de detalle, utilizando muestreo de suelo convencional y análisis de laboratorio, consume mucho tiempo y es costoso. Por tal motivo, métodos más eficientes para obtener esta información son esenciales para el monitoreo del suelo, el modelizado de nuestro sistema productivo y la agricultura de precisión [1].

Los sensores de suelo proximales tienen la capacidad de proporcionar información con alta resolución espacial y explicar las variaciones en las propiedades de los mismos [2]. En su mayoría, estos métodos de detección no están sujetos factores interferentes, y son ventajosos con respecto a los métodos de teledetección aérea y satelital [3]. Usando sensores proximales, por lo tanto, se pueden establecer relaciones menos ambiguas entre la salida del sensor y las propiedades del suelo [4]. La espectroscopia de rayos gamma, también conocida como radiometría, es uno de los métodos de detección de suelos proximales en tierra que pueden proporcionar información sobre las propiedades del suelo a una alta resolución espacial. Hoy y a partir de nuevos procesos y practicas de diagnostico se pueden realizar estos mapeos de alta definición apuntando a satisfacer las necesidades de manejar menores escala de variabilidad, según el potencial de la maquinaria que tenemos disponible a nivel productivo y sobre todo pensando en el futuro de los sistemas de producción, a donde el desafío que tendremos será producir más por unidad de recurso involucrado.

Los rayos gamma son cuantos o fotones de alta energía y radiación electromagnética de onda corta emitida por isótopos naturales [5]. Los isótopos radiactivos de los elementos que emiten radiación gamma se llaman radionúclidos o simplemente nucleídos. Muchos nucleídos se producen naturalmente, pero solo el potasio (K) y las series de desintegración de uranio (U) y torio (Th) producen rayos gamma de suficiente energía e intensidad para medirse con espectroscopia de rayos gamma. Estos nucleídos están presentes en suelos y rocas en forma de isótopos 40K, 238U y 232Th en cantidades variables. Otros radionúclidos inducidos por el hombre o inducidos por el hombre también están presentes en los suelos, como el 137Cs (un radioisótopo del cesio) que se ha depositado en los suelos debido a pruebas nucleares, guerras y accidentes como Chernóbil [6].

Un sensor de rayos gamma es en general capaz de medir concentraciones de dichos nucleídos, así como la radiación total. A diferencia de otros sensores proximales de suelo, los de rayo gamma como el SoilOptix están calibrados de tal forma que las concentraciones de estos

elementos traza radiactivos pueden ser cuantificados. Esto permite obtener un resultado cuantitativo (Bq / kg) para cada punto que se registra en el campo durante una medición. En general, el valor de un punto tiene el tamaño de un círculo con un haz de 2 metros de diámetro y unos 30 cm de profundidad.

Imagen del sensor de rayos gamma, SoilOptix.

La abundancia y distribución de los nucleídos reflejan los procesos geomorfológicos y de meteorización [7,8]. Los suelos arenosos con perfiles lixiviados se reconocen fácilmente por una baja tasa de conteo de rayos gamma [9]. En suelos arcillosos, 232Th puede adsorberse en las arcillas y, por lo tanto, el contenido de arcilla se puede mapear a partir de la concentración 232Th [10]. Los feldespatos de potasio se encuentran en los granitos. El granito recién erosionado con un perfil de suelo poco profundo tiene una alta tasa de conteo de 40K [9,11]. Los materiales ferruginosos o las gravas de un perfil profundamente desgastado son ricos en conteos de 232Th y 238U [7,9]. La concentración de 40K, 232Th y 238U de contenido en suelos y rocas generalmente aumenta al aumentar el contenido de sílice [11]. La textura del suelo es más probable que contribuya directamente a los datos radiométricos que las otras propiedades del suelo, como el carbono orgánico o el pH [12], sin embargo, una vez que se establece una relación con la textura del suelo, muchas otras relaciones indirectas entre las propiedades del suelo y los datos radiométricos son evidentes [13].

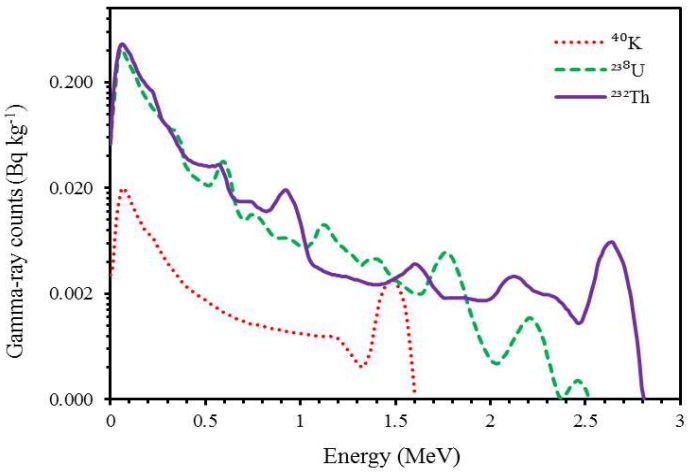
El SoilOptix es un sensor de radiación gamma que se desarrolló a principios del 2000 para realizar investigaciones científicas sobre la variabilidad de los nutrientes de los suelos agrícolas en Holanda. Hace unos pocos años la empresa Practical Precisión de Canadá adquirió el desarrollo y lo direccionó hacia el sector productivo con el objetivo de mejorar los mapeos de suelos y reducir los costos de los mismos.

Esta tecnología llega a Argentina por medio de Glimax SRL. En la empresa nos dedicamos a la identificación, adaptación y adopción de tecnologías de procesos que contribuyan mejorar la productividad del campo argentino. Hacemos un scouting permanente de nuevas tecnologías aquí en Argentina y en el mundo. Hace dos años realizamos los primeros contactos con Practical Precision tras haber identificado y preclasificado a SoilOptix como una de las herramientas sobresalientes y con mayor potencialidad futura en el área de "Tecnologías de Información y Conocimiento".
Paul Raymer, dueño de Practical Precision, nos visitó en 2016 para comenzar la relación y en ese momento visitamos a entidades y empresas claves que entendíamos que tenían que conocer la tecnología para lograr su incorporación efectiva en nuestros sistemas de producción. Visitamos el Ministerio de Agroindustria, AACREA, el área de Agricultura de Precisión de INTA y algunas secretarias provinciales de agricultura, como la de Córdoba. Adicionalmente compartimos nuestro plan de desarrollo con empresas como AGD, Plexagro, Rubisco y algunos productores referentes que pudieran ayudarnos a analizar objetivamente su utilización en condiciones reales de producción.

Proceso de mapeo de alta definición con SoilOptix.

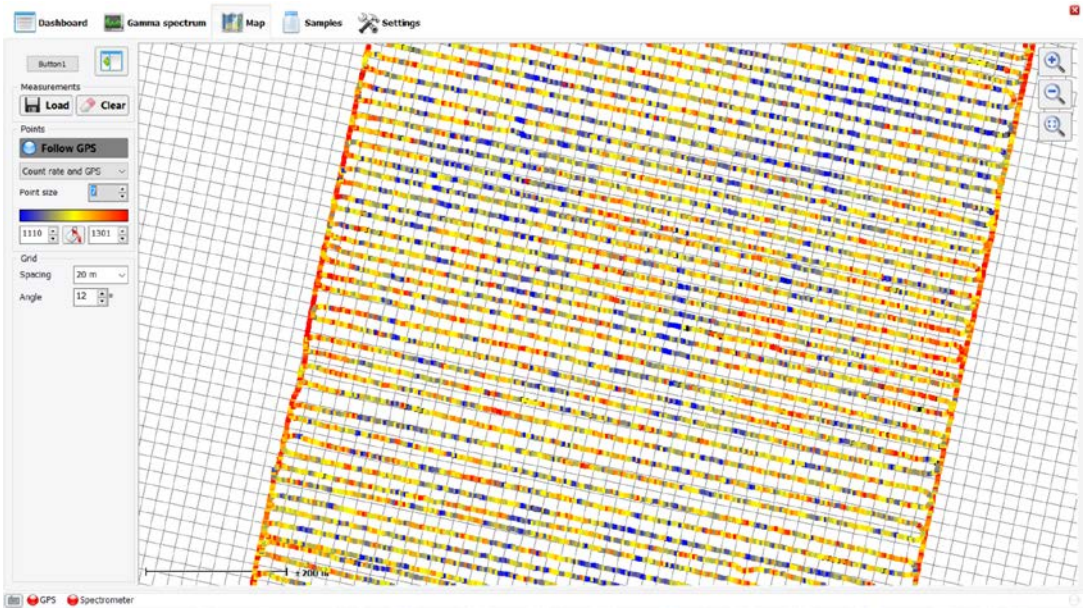
***Paso1.***

*Relevamiento Gamma:* el SoilOptix censa las emisiones naturales de radiaron gamma de los suelos, como se explico anteriormente, dicha radiación fluctúa en función del tipo de suelo, el material original que los formo y el tipo y la cantidad de nutrientes presentes al momento de efectuar las mediciones. Dentro del SoilOptix hay un cristal artificial que recibe la radiación y la descompone en diferentes longitudes de onda que son leídas en tiempo real en un espectrofotómetro.




Curva espectral de diferentes nucleídos. Tomado de [14].

El equipo de espectroscopia envía la curva de radiación gamma de cada lectura a una tasa de 1Hz a una PC donde se almacenan los registros, junto con las coordenadas geográficas tomadas de un GPS. En el lote se circula a unos 15 km/h y a unos 10 a 20 metros entre pasadas y de esta forma se genera el mapa del relevamiento gamma. Particularmente el SoilOptix se puede utilizar en casi cualquier condición de los lotes de producción ya que no lo afecta la presencia de un cultivo, malezas, diferentes contenidos de umeda o nieve.

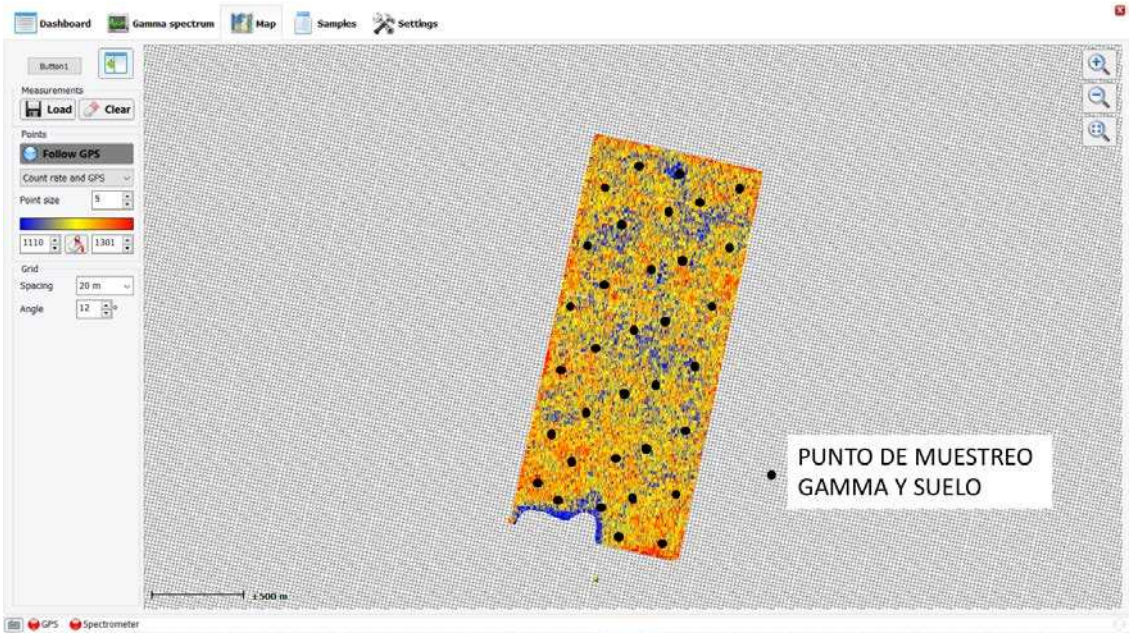



En la base de datos que se genera se individualizan 5 parámetros que luego son utilizados para caracterizar los suelos:

1. La Radiación Gamma Total
2. El nivel de radiación correspondiente al isótopo de Potasio 40 (K40)
3. El nivel de radiación correspondiente al isótopo de Uranio 238 (U238)
4. El nivel de radiación correspondiente al isótopo de Torio 232 (Th232)
5. El nivel de radiación correspondiente al isótopo de Cesio 137 (Cs137)

***Paso2.***

*Muestreo Gamma y de suelos:* con el mapa de relevamiento como guía se establece un patrón de muestreo de suelo tratando de cubrir la variabilidad indicada en el mapa de radiación gamma que nos muestra el software del SoilOptix.

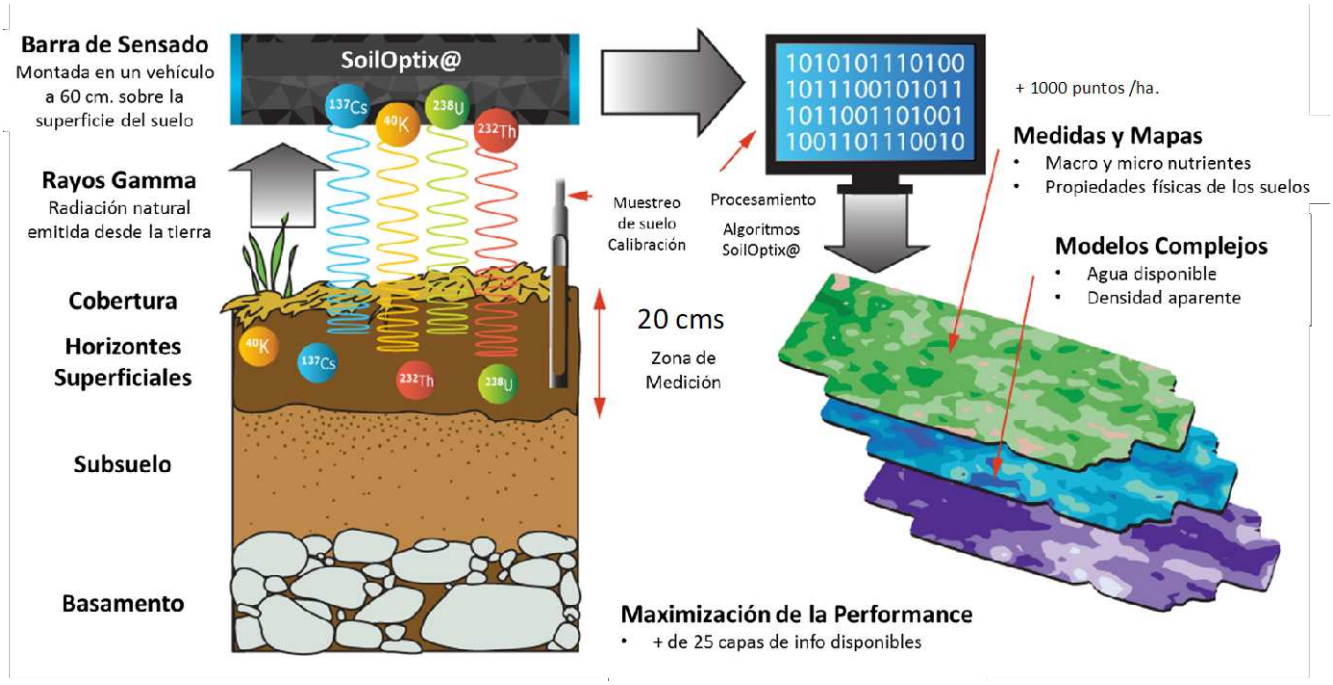


En cada punto de muestreo se toma una medición de radiación de saturación, para ello se deja grabando el SoilOptix en forma estática por 90 segundos y allí mismo se realiza una muestra de suelo, que luego se lleva al laboratorio para analizar todos los elementos necesarios para el diagnostico integral del lote. Por el momento se esta ajustando el proceso de muestreo y la intensidad necesaria para lograr la mejor calidad de mapeo con el menor costo posible. Hasta el momento las intensidades de. muestreo probadas son de 1 muestra cada 2 a 5 hectáreas.
Por el momento y para reducir error el SoilOptix esta siendo validado con el laboratorio AgLab de Aceitera General Deheza, en La Carlota, Córdoba y el del INTA Manfredi, para los siguientes elementos:

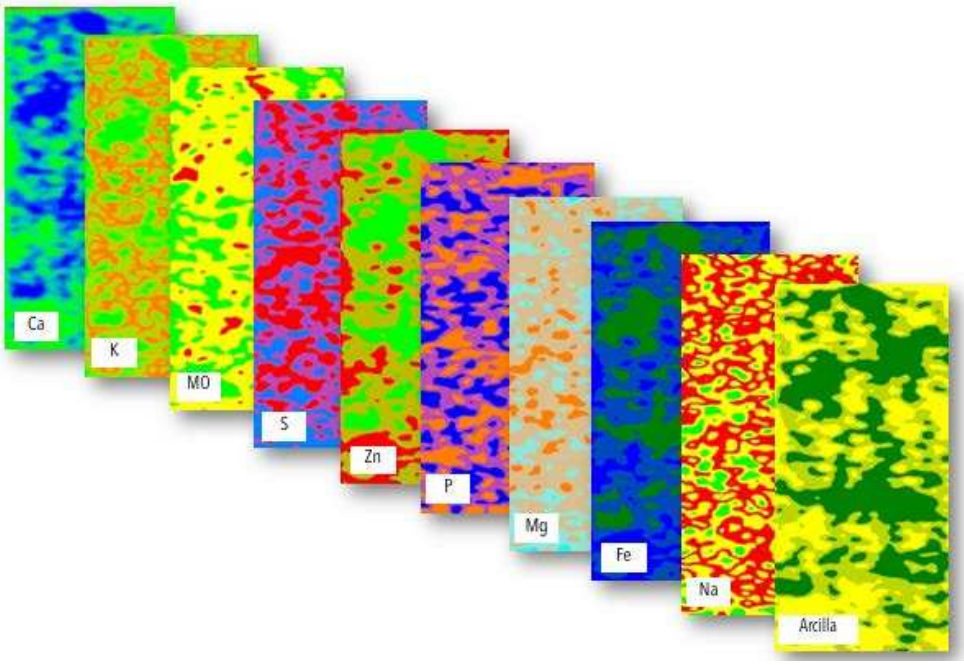
| | Determinación | | Determinación |
|---|---|---|---|
| 1 | pH | 12 | Zinc |
| 2 | Conductividad | 13 | Cobre |
| 3 | Materia Orgánica | 14 | Manganeso |
| 4 | Fósforo | 15 | Boro |
| 5 | Nitrógeno (N-NO3) | 16 | Cobalto |
| 6 | Azufre | 17 | Molibdeno |
| 7 | Potasio | 18 | Hierro |
| 8 | Calcio | 19 | Arena |
| 9 | Magnesio | 20 | Arcilla |
| 10 | Sodio | 21 | Limo |
| 11 | CIC | 22 | PSI |

***Paso3.***

*Modelización de los datos:* con la base de datos generada a partir de los pasos anteriores, se carga la misma a un servidor en la nube que realiza los modelos de correlación y análisis estadísticos según cada determinación que se analizo en el laboratorio generando modelos específicos para cada lote. Así se obtiene un algoritmo específico para cada nutriente y lote, que luego es utilizado para transformar los datos del Paso 1 (*Relevamiento Gamma)* en datos de nutrientes simulados obteniéndose mas de 1000 datos simulados por hectárea, es decir un punto con todos los datos de las determinaciones mencionadas cada 3m x 3m.
De las capas resultantes se pueden calcular nuevas capas mediante modelos complejos que completan el diagnostico para hacerlo no solo de alta definición, sino también exhaustivo.




El mapeo con SoilOptix se puede hacer sobre lotes ya muestreados complementar los programas de muestreo intensivo de suelos ya existente. Esta información pude ser utilizada para lo mismo que se utilizan las muestras de suelo; ajustar un plan nutricional de un lote, cultivo o pastura, predecir la respuesta al agregado de un nutriente, determinar limitaciones para el crecimiento, analizar la calidad de los suelos, evaluar el estado de deterioro, definir rotaciones, etc.

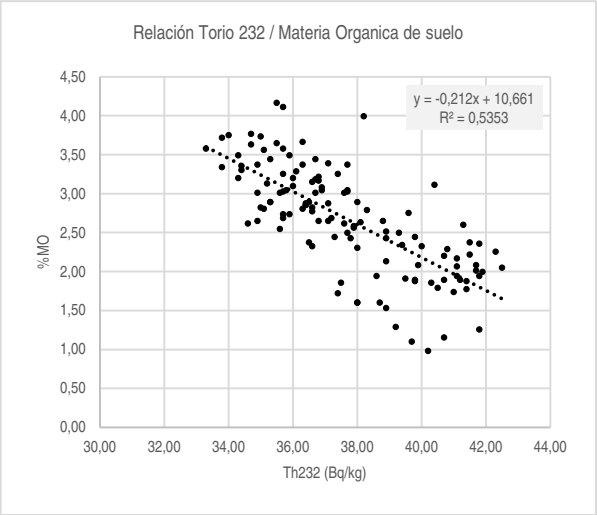



ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO EN ARGENTINA.

En los últimos 2 años el producto paso por diferentes fases de adopción y adaptación:

***Fase 0 de Prospección Tecnológica***: en la que se identificó el potencial de la tecnología para mejorar la precisión de los mapeos de suelo actuales.

**Fase 1 de Investigación**: donde se analizaron los antecedentes científicos y la información básica relacionada a los principios del mapeo por radiación gamma. Esta fase incluyo el uso de la herramienta a pequeña escala para tratar de entender el funcionamiento y las posibilidades de uso agronómico de SoilOptix. En dicha etapa encontramos correlaciones similares a las de la bibliografía.

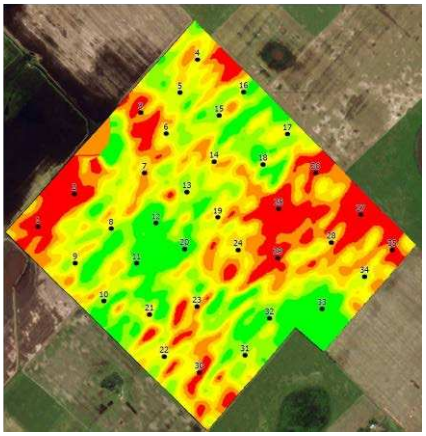



**Fase 2 de Desarrollo:** Actualmente estamos en esta etapa, con un grado de conocimiento mayor de la tecnología; ya se relevaron 1400 hectáreas en una transecta que va desde el norte de la provincia de Buenos Aires, hasta Rio IV, en el sur de Córdoba, donde tratamos de utilizar la herramienta explorando parte de la variabilidad existente en los tipos de suelo presentes en la región pampeana. Uno de los lotes analizado fuera de dicha región es el Lote 07 de la EEA Manfredi que cuenta con suficiente información como para validar el SoilOptix en forma exaustiva.

Los resultados obtenidos en los relevamientos son muy buenos. Las regresiones entre las lecturas de radiación gamma y los niveles medidos de algunos nutrientes a partir de los análisis de suelo son muy buenas y las validaciones realizadas con muestreos independientes son excelentes. Adicionalmente estamos cotejando con gran éxito los mapas de nutrientes del SoilOptix con otras fuentes de información densa como los mapas de electroconductividad de suelos, los mapas de rendimiento, los índices topográficos compuestos y el NDVI de los cultivos. Podemos decir que la herramienta nos está mostrando el potencial que prometía

Muestreo de suelos intensivo Interpolado

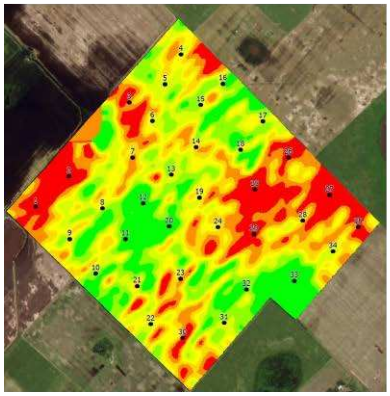
Muestreo de suelos intensivo Modelizado



Comparación entre dos mapas de materia orgánica obtenidos por un muestreo de suelo intensivo (izq.) y la modelización de los mismos datos del muestreo de suelo realizado con SoilOptix. Las grandes zonas se correlacionan, pero el grado de detalle del mapa de la derecha (MO simulada por SoilOptix) muestra un grado de variabilidad espacial mayor.

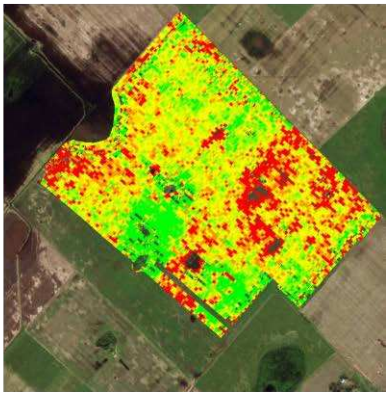
Esta comparación se completa con las siguientes imágenes conde se comparan fuentes de información densa como el NDVI del cultivo de soja y el rendimiento del cultivo.

Validación con otras fuentes de información densa



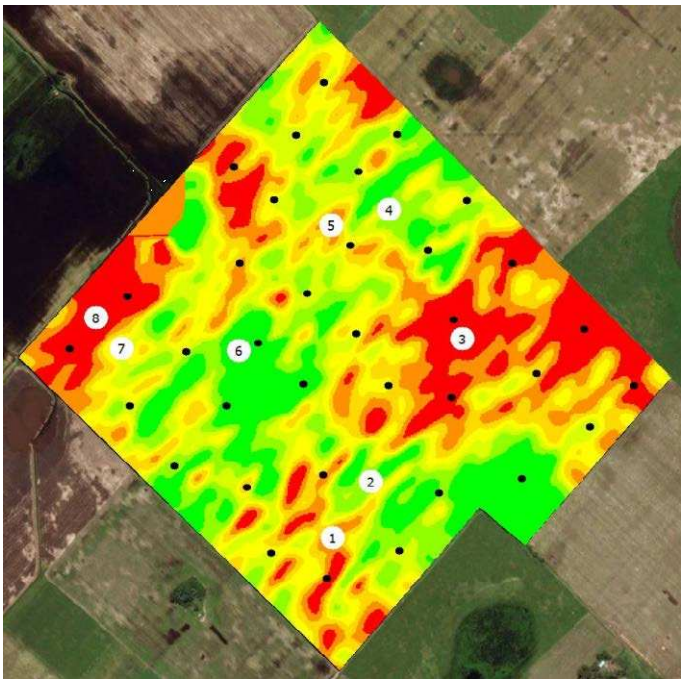
Niveles de MO de SoilOptix

NDVI Cultivo Soja



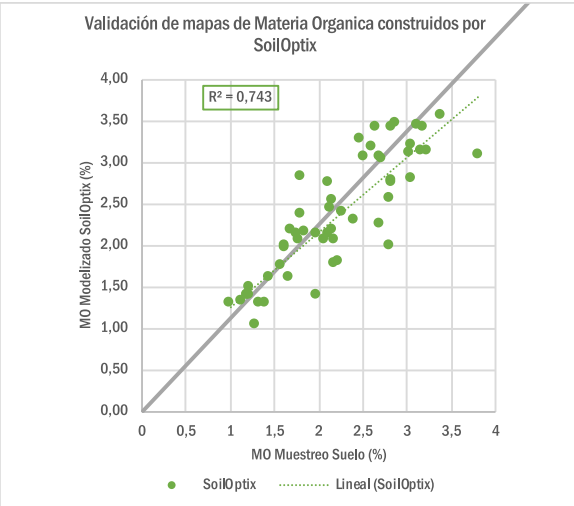
Mapa de Rendimiento

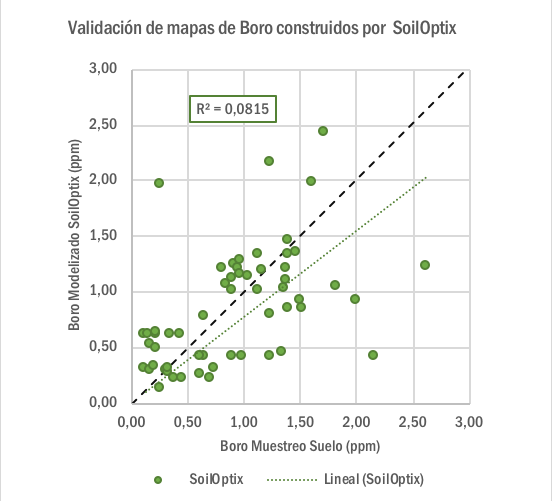
En este lote se encuentra una alta correlación espacial para dichas variables, no obstante, la validación final del SoilOptix se esta realizando con un muestro de suelos independiente. Se tomaron nuevas muestras de suelos en puntos donde no se había muestreado anteriormente y se realizaron las correlaciones entre los valores simulados por el SoilOptix y los nuevos datos obtenidos del laboratorio.

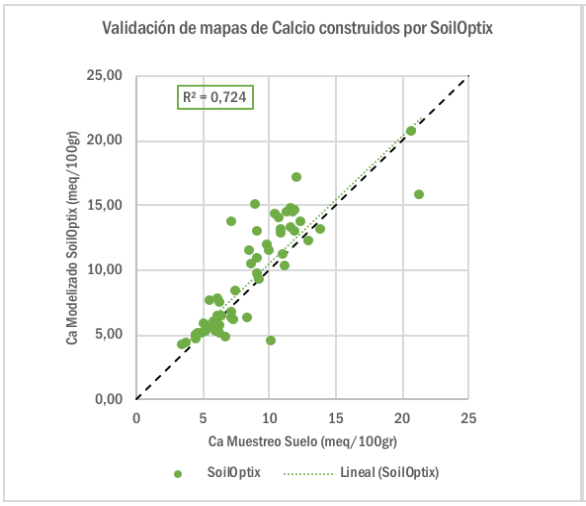


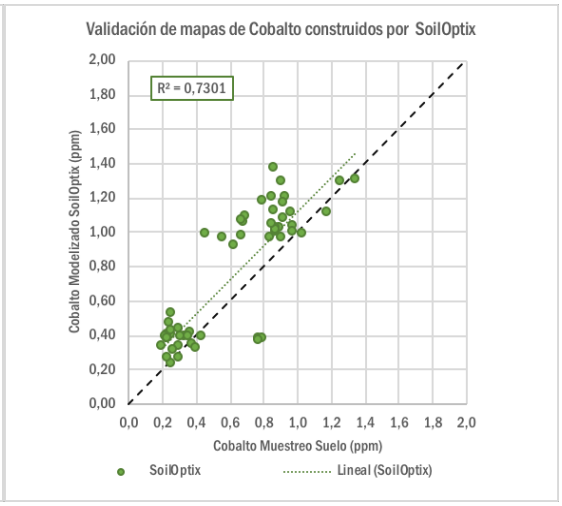

Los puntos en blanco son las nuevas estaciones de muestreo para la validación.

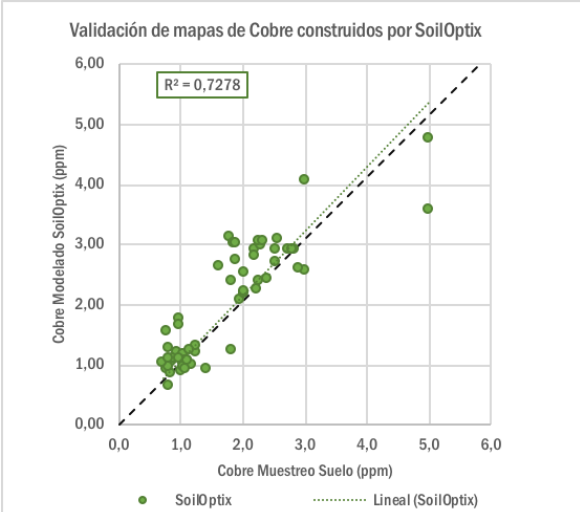
Los datos de estas validaciones para 10 lotes de diferentes regiones nos muestran resultados muy positivos para algunos nutrientes, a saber:

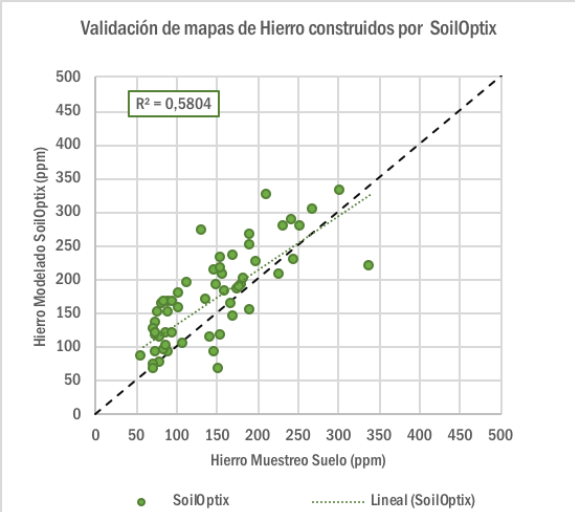


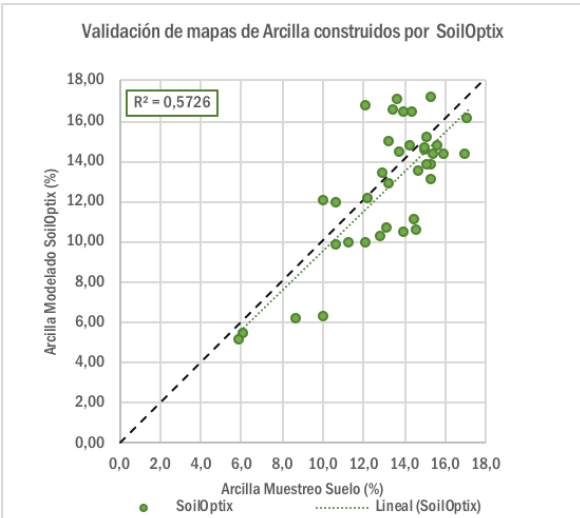



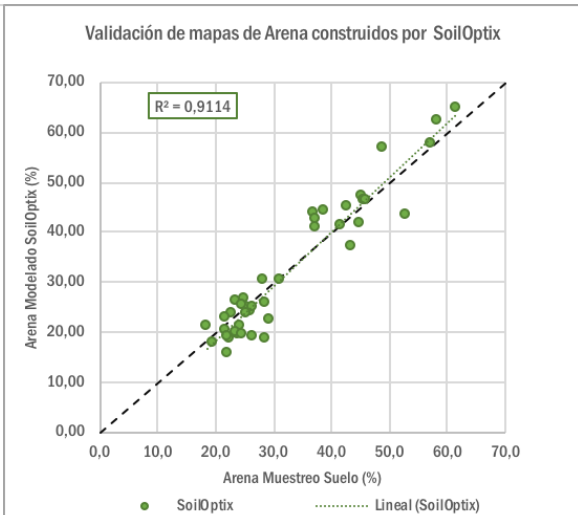

Validación de mapas de Calcio construidos por SoilOptix
R² = 0,724
Ca Modelizado SoilOptix (meq/100gr)
Ca Muestreo Suelo (meq/100gr)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

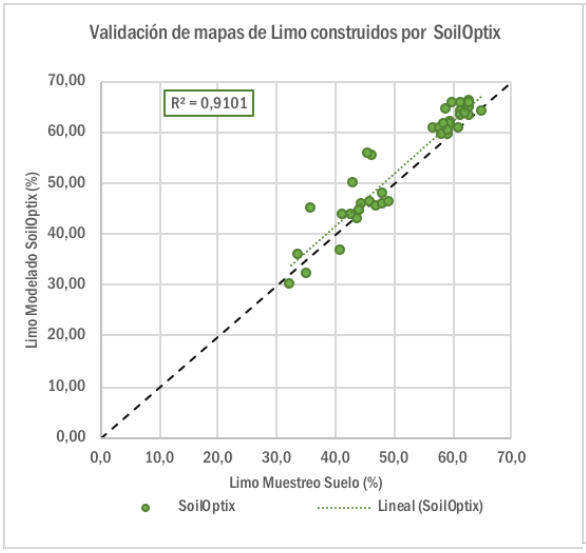

Validación de mapas de Cobalto construidos por SoilOptix
R² = 0,7301
Cobalto Modelizado SoilOptix (ppm)
Cobalto Muestreo Suelo (ppm)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

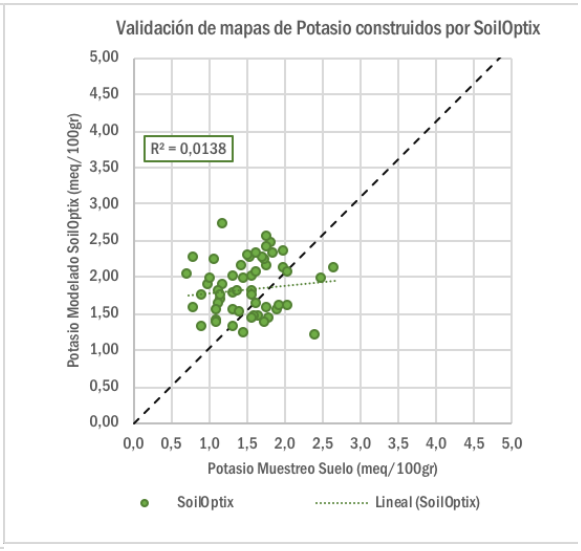

Validación de mapas de Cobre construidos por SoilOptix
R² = 0,7278
Cobre Modelado SoilOptix (ppm)
Cobre Muestreo Suelo (ppm)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

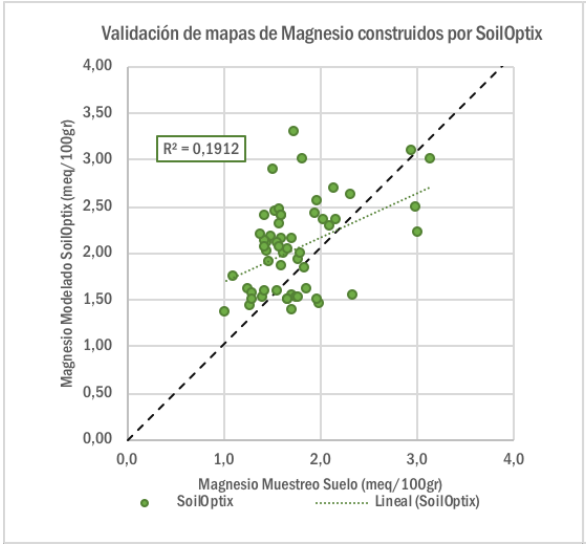

Validación de mapas de Hierro construidos por SoilOptix
R² = 0,5804
Hierro Modelado SoilOptix (ppm)
Hierro Muestreo Suelo (ppm)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

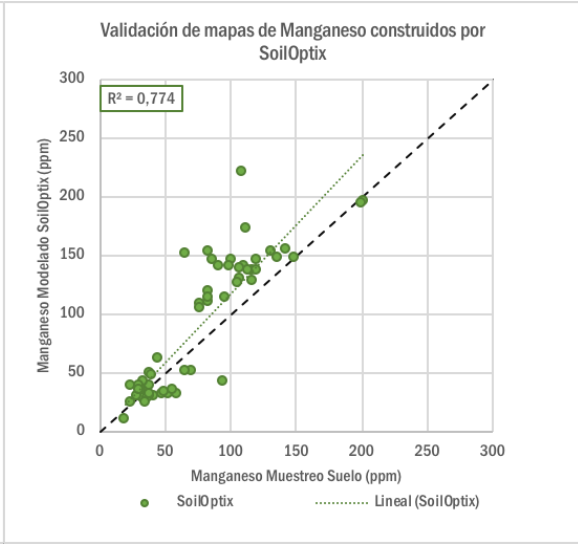

Validación de mapas de Arcilla construidos por SoilOptix
R² = 0,5726
Arcilla Modelado SoilOptix (%)
Arcilla Muestreo Suelo (%)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

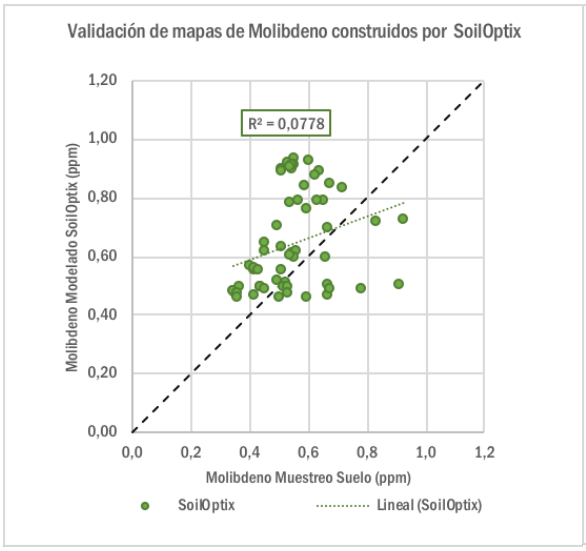

Validación de mapas de Arena construidos por SoilOptix
R² = 0,9114
Arena Modelado SoilOptix (%)
Arena Muestreo Suelo (%)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

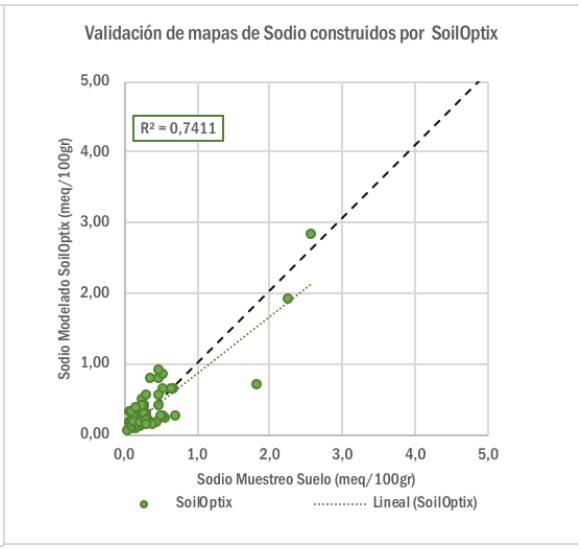

Validación de mapas de Limo construidos por SoilOptix
R² = 0,9101
Limo Modelado SoilOptix (%)
Limo Muestreo Suelo (%)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

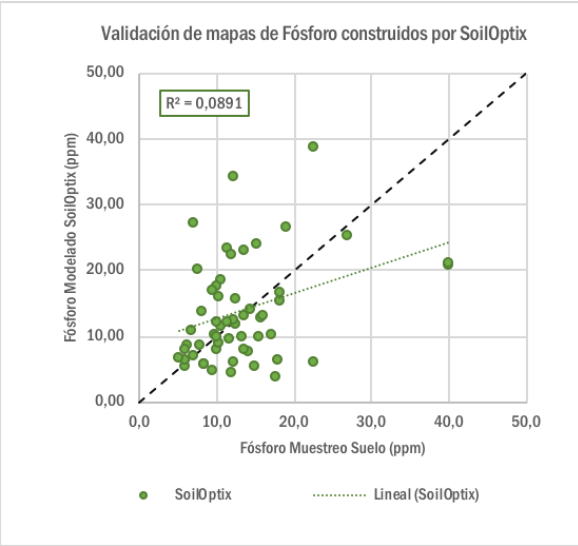

Validación de mapas de Potasio construidos por SoilOptix
R² = 0,0138
Potasio Modelado SoilOptix (meq/100gr)
Potasio Muestreo Suelo (meq/100gr)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

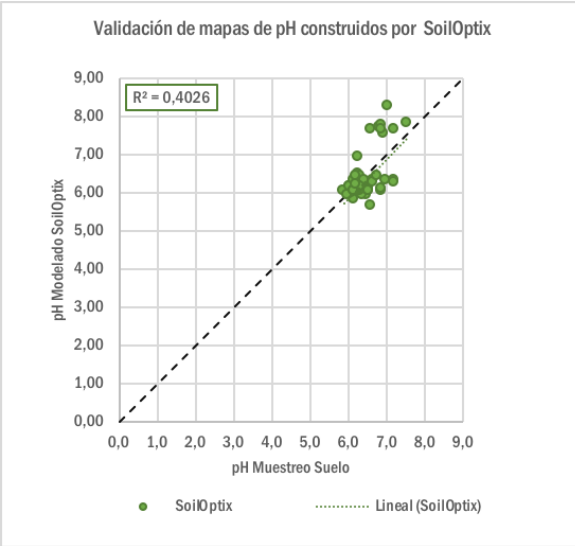

Validación de mapas de Magnesio construidos por SoilOptix
R² = 0,1912
Magnesio Modelado SoilOptix (meq/100gr)
Magnesio Muestreo Suelo (meq/100gr)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

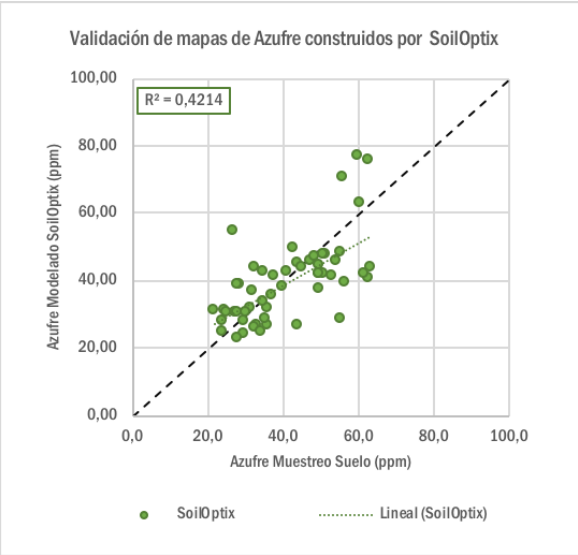

Validación de mapas de Manganeso construidos por SoilOptix
R² = 0,774
Manganeso Modelado SoilOptix (ppm)
Manganeso Muestreo Suelo (ppm)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)

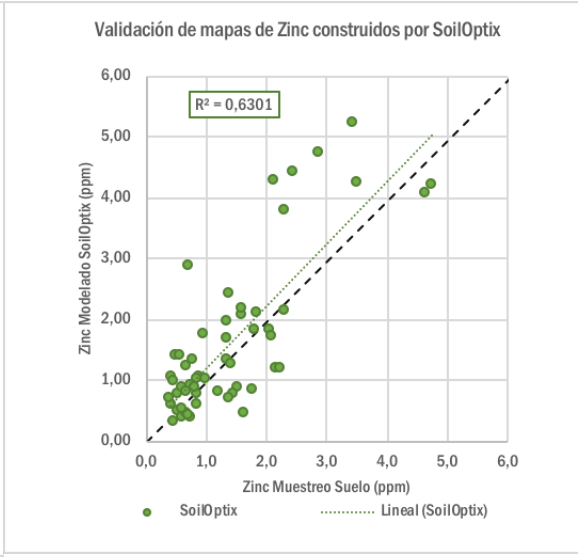

Validación de mapas de Molibdeno construidos por SoilOptix
R² = 0,0778
Molibdeno Modelado SoilOptix (ppm)
Molibdeno Muestreo Suelo (ppm)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)


Validación de mapas de Sodio construidos por SoilOptix
R² = 0,7411
Sodio Modelado SoilOptix (meq/100gr)
Sodio Muestreo Suelo (meq/100gr)
SoilOptix
Lineal (SoilOptix)




Con estas validaciones se volverá a trabajar sobre los algoritmos de predicción del SoilOptix para mejorar los mapas simulados y así hacer mas precisa la herramienta. Este proceso se llevará a delante durante este verano, junto con los análisis de reducción de número de muestras y la modelización zonal. Estas últimas optimizaciones del proceso apuntan a reducir costos de muestreo y mantener o mejorar la precisión de los mapas actuales obtenidos por metodologías similares.

**Fase 3 de Comercialización** está planificada para finales de este año y principios de 2019.

**CONSIDERACIONES**

El SoilOptix es una herramienta que nos permite realizar mapeos de alta resolución con un procedimiento que ajusta actualmente para mucho de los nutrientes y elementos del suelo que son fundamentales a la hora de tomar decisiones agronómicas, pero a demás es un sistema inteligente que va aprendiendo a medida que se incorporen datos a la base y así poder

mejorar la simulación de cada nutriente para poder aumentar la precisión y exactitud de los resultados.

## REFERENCIAS


Blackmore, B.S. Using Information Technology to Improve Crop Management. Available online: ftp://129.236.34.22/pub/atiuser/roel/FROM%20HOME/paperprecisag/other%20papers/information%20technology%20and%20crop%20management.pdf (accessed on 15 November 2013).

Hummel, J.W.; Gaultney, L.D.; Sudduth, K.A. Soil property sensing for site-specific crop management. Comput. Electr. Agric. 1996, 14, 121–136.

McBratney, A.B.; Santos, M.L.M.; Minasny, B. On digital soil mapping. Geoderma 2003, 117, 3–52.

Barnes, E.M.; Sudduth, K.A.; Hummel, J.W.; Lesch, S.M.; Corwin, D.L.; Yang, C.; Daughtry, C.S.T.; Bausch, W.C. Remote- and ground-based sensor techniques to map soil properties. Photogramm. Eng. Remote Sens. 2003, 69, 619–630.

Ward, S.H. Gamma-ray spectrometry in geologic mapping and uranium exploration. Econ. Geol. 1981, 840–849.

Airborne Gamma Ray Spectrometer Surveying; Technical Reports Series No. 323. International Atomic Energy Agency: Vienna, Austria, 1991.

Dickson, B.L.; Scott, K.M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys—adding the geochemical factors. AGSO J. Aust. Geol. Geophys. 1997, 17, 187–200.

Wilford, J.R.; Bierwirth, P.N.; Craig, M.A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. AGSO J. Aust. Geol. Geophys. 1997, 17, 201–216.

Cook, S.E.; Corner, R.J.; Groves, P.R.; Grealish, G.J. Use of airborne gamma radiometric data for soil mapping. Aust. J. Soil Res. 1996, 34, 183–194.

Wedepohl, K.H. Handbook of Geochemistry; Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1978.

Wilford, J.; Minty, B. The use of airborne gamma-ray imagery for mapping soils and understanding landscape processes. Dev. Soil Sci. 2006, 31, 207–218.

Megumi, K.; Mamuro, T. Concentration of uranium series nuclides in soil particles in relation to their size. J. Geophys. Res. 1977, 82, 353–356.

Wong, M.T.F.; Harper, R.J. Use of on-ground gamma-ray spectrometry to measure plant-available potassium and other topsoil attributes. Aust. J. Soil Res. 1999, 37, 267–277.

Proximal Gamma-Ray Spectroscopy to Predict Soil Properties Using Windows and Full-Spectrum Analysis Methods. Hafiz Sultan Mahmood, Willem B. Hoogmoed and Eldert J. van Henten. 2013. www.mdpi.com/journal/sensors.

# BOSCH PRESENTA SU SISTEMA DE PESAJE INTELIGENTE PARA LA GANADERÍA

**Gustavo Ferro**
Departamento de Ganadería de Precisión de Bosch Latinoamérica

- Innovación: Plataforma Bosch para la Ganadería de Precisión beneficiará a productores nacionales e internacionales
- Última tecnología que traerá más rentabilidad para el ganadero, mejor gestión de recursos y menor impacto ambiental
- Sistema capaz de analizar el rendimiento del ganado en tiempo real

La agricultura y ganadería es un negocio muy importante para la economía de nuestro país. Por eso, Bosch acompaña a este sector presentando por primera vez en Argentina su última innovación para la ganadería de precisión. Se trata de un sistema de pesaje inteligente, una plataforma tecnológica que revoluciona el sistema actual. Esta herramienta, desarrollada en Brasil, busca analizar el desempeño del ganado de forma dinámica e individual dentro de su hábitat natural y sin la necesidad de transportarlo hacia el corral, permitiendo al productor obtener las medidas exactas de cada animal y así tomar las mejores decisiones en el momento adecuado.

*"Esta innovación es un hito en la historia de Bosch, ya que nos permite continuar acompañando al sector agropecuario argentino con la última tecnología desarrollada, brindándole competitividad, mayor productividad y sostenibilidad",* destaca **Gastón Diaz Perez, Presidente Regional para América Latina Cono Sur**.

Con esta solución tecnológica de Bosch para la ganadería de precisión, se podrá realizar un control más acertado en el acompañamiento del rebaño, dado que permite el rastreo individual del animal. Actualmente, el peso se estima de acuerdo con una media entre varias cabezas o individualmente a través de pesajes puntuales en el corral de manejo. Con este nuevo sistema de pesaje es posible llevar un chequeo riguroso de la performance y de la salud del ganado, de la operación de la propiedad y también disminuir la cantidad de desperdicios de recursos naturales y comida de los animales.

*"El sistema de pesaje inteligente permite obtener índices de desempeño de cada animal de manera particular, luego es comparado con el promedio y de esta manera, podrá ser clasificado o agrupado de acuerdo a sus características y performance, mostrando si hay algún problema de manera ágil, segura y en tiempo real*", explica **Manuel Recla, Gerente de Agro negocios de Robert Bosch Argentina**.

Otro impacto positivo de esta innovación es en relación al bienestar del animal, ya que no necesita ser trasladado para realizar el pesaje. De esta manera, evita la exposición del ganado a situaciones estresantes y se disminuye la posibilidad de provocar accidentes, muy comunes en el proceso de medición tradicional.

*"El negocio ganadero es uno de los impulsores de nuestra economía, por eso queremos contribuir con nuestra experiencia en innovación y desarrollo a perfeccionar la ganadería de precisión creando sistemas y plataformas que ayuden a tener una actividad más rentable y sostenible*", concluye **Diaz Pérez**.

**FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

El sistema se instala en un pasillo individual que, en caso de que los animales estén en corrales, se divide el lugar en dos partes, separando el sector de comida del bebedero. En el campo abierto, el sistema puede ser instalado en el paso o en la entrada de los sitios de alimentación. En ambos casos, el ganado circula libremente y sus datos se obtienen mediante la lectura de una caravana electrónica (RFID UHF) y se envían a una red de datos cada vez que el animal pasa por el pasillo.

A partir de ese momento, Bosch procesa los datos y proporciona indicadores clave para el cliente. Con el pesaje constante, el administrador puede verificar, por ejemplo, la tasa de ganancia diaria de peso, la efectividad de la dieta, si uno de los animales está engordando menos de lo que debería, etc. *"Trabajamos en pro de la ganadería argentina, mediante la inteligencia de la información y la conectividad"* refuerza **Diaz Perez**.

Además de mejorar la gestión operativa del establecimiento con esta solución, fue posible verificar, en pocos días de análisis, la performance del ganado y cuales no permiten generar retorno financiero.
Por el constante movimiento del ganado en la balanza, toda la plataforma queda anclada sobre una base de concreto diseñada para facilitar el acceso, garantizando la exactitud de las informaciones. Además, se desarrollaron mecanismos de bloqueo contra impactos externos, de modo que la suciedad y los cambios climáticos no interfieran en la lectura de datos.

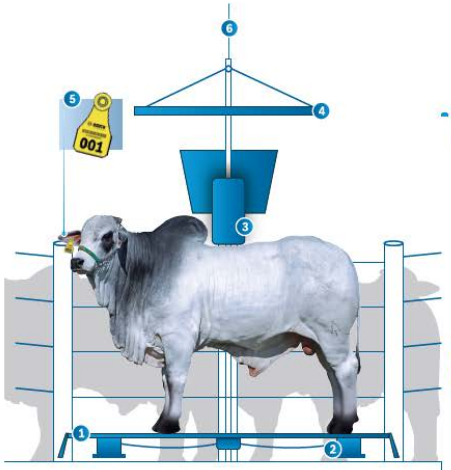
La seguridad de la información fue otra variable importante en el proyecto. Para garantizarla, se creó el *Bosch Cloud*, un sistema propio de almacenamiento en nube que garantiza la protección de los datos en todas las etapas.

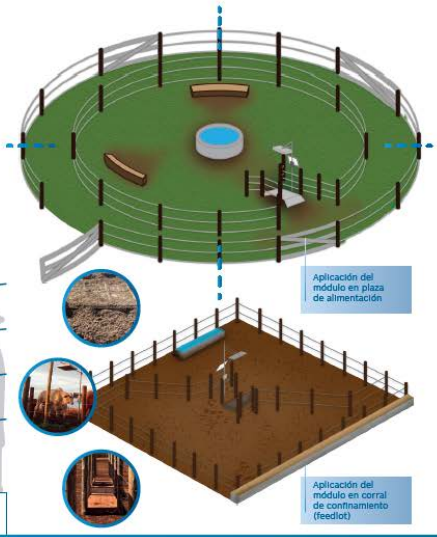
**INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

El proyecto se inició hace tres años y el equipo que desarrollo la herramienta utilizó el sistema de diseño *Thinking* y otros instrumentos igual de ágiles a lo largo de todo el proceso de investigación, desarrollo e inicio de implementación.

En junio de 2013, el desafío por innovar en el mercado ganadero estaba planteado y se presentó el proyecto en el mismo año. En septiembre de 2014, se realizó una muestra funcional del prototipo en el campo de acción, con un equipo de apenas cinco personas. En febrero de 2015, las primeras pruebas pilotos se probaron en los campos de los clientes y paralelamente se continuó el desarrollo en el laboratorio.

El trabajo estrecho con el cliente y los sistemas de retroalimentación constantes posibilitaron ajustes y pruebas de forma rápida y segura. El desarrollo también contó con la colaboración de otros departamentos de Bosch, como la ingeniería de India, centros de inteligencia artificial en Alemania y Estados Unidos y divisiones del sector automotriz, además de alianzas externas que se firmaron con consultorías, especialistas, universidades, proveedores, entre otros. También, los institutos de tecnología fueron requeridos en diversos momentos.




**Información sobre su rebaño donde usted se encuentre**

## Módulo Performance

Cuando el animal camina por la ① **Balanza Dinámica** su peso es medido por los ② **Sensores de Pesaje.** Éstos sensores envían señales eléctricas para la ③ **Unidad de Procesamiento a Campo**, donde son transformados de forma precisa en información digital para el sistema Bosch. El sistema de pesaje ya está pre calibrado y posee función de tara automática para la operación contínua en el campo sin necesidad de supervisión. La unidad de procesamiento a campo posee un sistema inteligente de diagnóstico remoto para la detección de fallas en el sistema de pesaje, identificación de caravana electrónica, acumulación de suciedad en el panel solar (limpieza necesaria) y estado de la batería. La ④ **Lectora Integrada de Identificación** lee la ⑤ **Caravana Electrónica** del animal en forma confiable desde mayores distancias sin uso de bastón, debido a su tecnología de alta frecuencia. Toda esa información es enviada por una ⑥ **Antena Externa** a través de una Red

Identifica el animal con facilidad y a mayor distancia

Robustez y calidad asegurada contra adversidades climáticas y ambientales

Wireless hasta la oficina de la estancia, en donde todos los datos son procesados y subidos a la nube, en donde se encuentra la inteligencia del sistema (conexión a internet requerida en la oficina). Es de esta manera que los datos de campo son transformados en índices de performance e inteligencia.

**INSTALACIÓN**

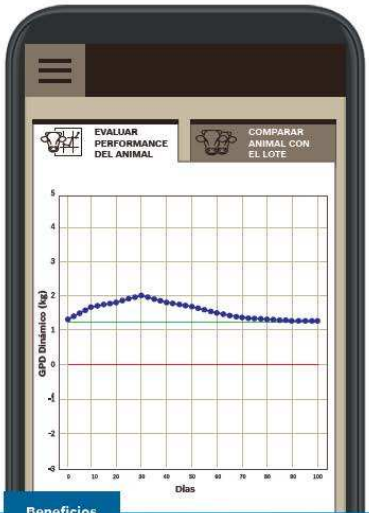
Una cerca divide el corral en dos espacios, separando el bebedero del comedero solo por un corredor de paso donde el Módulo Performance es instalado. En la búsqueda diaria por alimento o agua, los animales pasan libremente por el sistema, sin neceisdad de arrearlos.

Con el **Módulo Performance** instalado en todos los corrales de confinamiento o en todas las plazas de alimentación a pasto, todos sus animales serán monitoreados y usted tendrá el control sobre cada uno de ellos. Será posible ver animales mezclados que escaparon de otros corrales, tener un relevo en tiempo real del rebaño y ser avisado cuando un animal necesita atención.

Autonomía de energía

Diagnóstico remoto del sistema

Red independiente de internet




## Beneficios

- Aumento de la productividad
- Monitoreo de performance individual y del rebaño
- Optimización del manejo nutricional
- Control sanitario
- Racionalización de recursos evitando desperdicios
- Eficiencia en el gerenciamiento de la operación

BOSCH
Innovación para tu vida

**Comuníquese con nosotros**

Polo Tecnológico zona I
Lamadrid 470,nave 1 piso 1 oficina 16
Rosario, Provincia de Santa Fe.
Teléfono: (341) 5981351
E-mail: Manuel.recla@ar.bosch.com

# Ganadería de precisión

**ACERCA DE BOSCH**

En 2014 Robert Bosch Argentina celebró 90 años de presencia en el país: el primer local de ventas de América Latina fue establecido por el fundador de la compañía en Buenos Aires, en 1924. Hoy en día el Grupo Bosch en Argentina emplea 242 colaboradores, comercializa una amplia gama de sus productos a través de sus unidades de ventas Automotive Aftermarket, Herramientas Eléctricas, Sistemas de Seguridad y Termotecnología, y posee una unidad fabril, Bosch Rexroth S.A.I.C., ubicada en la localidad de Carapachay. En 2017, las ventas en el país ascendieron a aproximadamente 2,4 mil millones de pesos. La empresa acompaña la evolución del mercado y el crecimiento del país a través de nuevas tecnologías para consolidarse como proveedor líder de una amplia variedad de servicios, productos y soluciones innovadoras.

El Grupo Bosch es un proveedor de tecnología y servicios líder a nivel mundial. Emplea aproximadamente 402.000 asociados (al 31.12.2017). La empresa generó ventas de 78.100 millones de euros en 2017. Sus operaciones están divididas en cuatro sectores comerciales: Soluciones de Movilidad, Tecnología Industrial, Bienes de Consumo, y Energía y Tecnología para la Edificación. Como empresa líder de IoT, Bosch ofrece soluciones innovadoras para hogares y ciudades inteligentes, y movilidad e industria conectadas. Utiliza su experiencia en tecnología de sensores, software y servicios, así como su propia nube IoT, para ofrecer a sus consumidores conectados múltiples soluciones a partir de una sola fuente. El objetivo estratégico del Grupo Bosch es crear soluciones para una vida conectada y mejorar la calidad de vida en todo el mundo con productos y servicios innovadores que despiertan entusiasmo. En resumen, Bosch crea tecnología que es “Innovación para tu vida”. El Grupo Bosch comprende a Robert Bosch GmbH y sus cerca de 440 subsidiarias y compañías regionales en alrededor de 60 países. Si se incluyen sus socios en ventas y servicios, la red mundial de producción, ingeniería y ventas, la empresa se encuentra representada en todos los países del mundo. La base para el crecimiento futuro de la empresa es su fuerza innovadora. Bosch emplea 64.500 colaboradores en investigación y desarrollo en 125 localidades en todo el mundo.

La compañía fue fundada en Stuttgart en 1886 por Robert Bosch (1861-1942) como “Taller de mecánica de precisión y electrotecnia.” La especial estructura de propiedad de Robert Bosch GmbH asegura la libertad empresarial del Grupo Bosch, permitiéndole a la compañía planificar a largo plazo y comprometerse a realizar inversiones anticipadas significativas con el fin de salvaguardar su futuro. El 92 por ciento del capital social de Robert Bosch GmbH pertenece a Robert Bosch Stiftung GmbH, una fundación con fines benéficos. La mayoría de los derechos de voto pertenecen a Robert Bosch Industrietreuhand KG, un fondo industrial responsable por la gestión empresarial del Grupo. Las acciones restantes pertenecen a la familia Bosch y a Robert Bosch GmbH.

Venta y Canje
Biblioteca e Información
**INTA E.E.A Manfredi**

Ruta Nacional Nº 9 – Km. 636
5988 Manfredi – Córdoba – Arg.

bibman@manfredi.inta.gov.ar
Tel-fax: 54-3572-493053, 58, 61
Cel: 15- 528- 706

Comunicación
Diagramación Técnica
Tec. Mauro Bianco Gaido

Publicidad
Esteban E. Eugeni

Imprenta Editorial
Edición: Jorge Omar Maita
Corrección: Lic. María del C. Aparicio y Hernández
Uruguay 470, Oncativo, Córdoba
Tel. 03572 - 15524039
jorgeomar.maita@gmail.com

Septiembre 2018